

Ghid de Aplicare - Calitatea Energiei Electrice

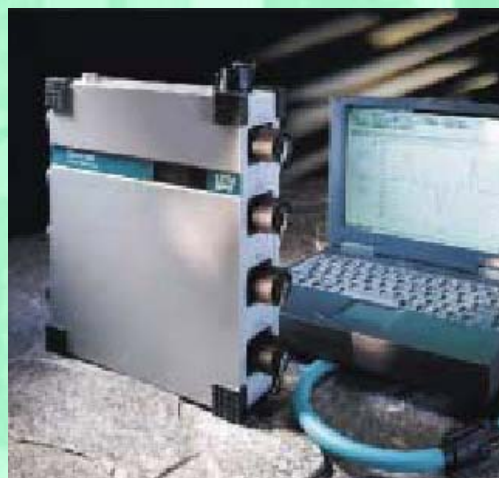
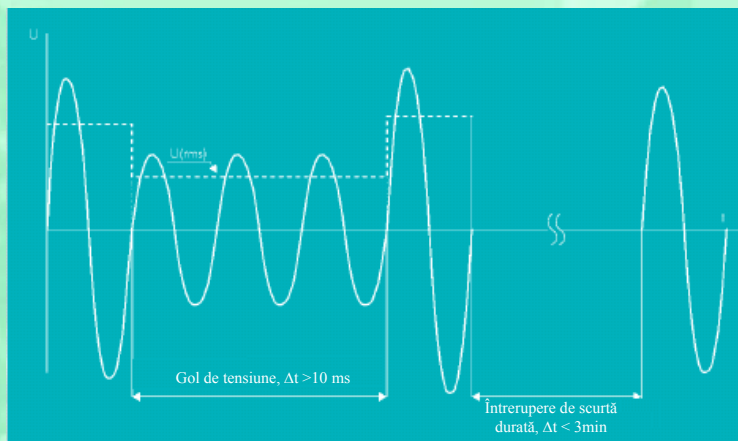


Perturbații de tensiune

Standard EN 50160

5.4.2

Caracteristicile tensiunii în rețelele de distribuție publice



Perturbații de tensiune

Perturbații de tensiune

Standard EN 50160- Caracteristicile tensiunii în rețelele de distribuție publice

Henryk Markiewicz & Antoni Klajn
Wroclaw University of Technology
Iulie 2004



Acest ghid este realizat ca parte a Inițiativei Leonardo pentru Calitatea Energiei Electrice, un program european de educație și învățare, sub egida și cu suportul Comunității Europene (în programul Leonardo da Vinci) și International Copper Association. Pentru alte informații privind acest program a se vedea www.lpqi.org.

European Copper Institute (ECI)

European Copper Institute este un joint venture între ICA (International Copper Association) și industria europeană de fabricate. Prin membrii săi, ECI acționează în numele celor mai mari producători de cupru din lume și a principalilor prelucrători din Europa, pentru promovarea cuprului în Europa. Apărută în ianuarie 1996, ECI are suportul unei rețele de unsprezece Copper Development Association („CDAs”) în Benelux, Franța, Germania, Grecia, Ungaria, Italia, Polonia, Rusia, Scandinavia, Spania și Regatul Unit.

Societatea Inginerilor Energeticieni din România

Societatea Inginerilor Energeticieni din România - SIER, constituită în 1990, este o asociație profesională, autonomă, cu personalitate juridică, neguvernamentală, apolitică, fără scop patrimonial. Scopul Societății este de a contribui activ atât la creșterea rolului și eficienței activității inginerilor energeticieni, cât și la stabilirea orientărilor, promovarea progresului tehnic și îmbunătățirea legislației în domeniul energetic. SIER promovează un schimb larg de informații, cunoștințe și experiență între specialiștii din domeniul energetic prin cooperarea cu organizații similare naționale și internaționale. În anul 2004 SIER a semnat un acord de parteneriat cu European Copper Institute pentru extinderea și în România a programului LPQI (Leonardo Power Quality Initiative), program educațional în domeniul calității energiei electrice, realizat cu suportul Comisiei Europene. În calitate de partener al ECI, SIER se va implica în desfășurarea unei ample activități de informare și de consultanță a consumatorilor de energie electrică din România.

Atenționare

Conținutul acestui proiect nu reflectă în mod necesar poziția Comunității Europene și nu implică nici o responsabilitate din partea Comunității Europene.

European Copper Institute, Wroclaw University of Technology și Societatea Inginerilor Energeticieni din România își declină răspunderea pentru orice daune directe, indirecte, subsidiare sau incidentale care ar putea să rezulte în urma utilizării informațiilor sau a inabilității de a utiliza informațiile și datele cuprinse în această publicație.

Copyright© European Copper Institute, Wroclaw University of Technology și Societatea Inginerilor Energeticieni din România.

Reproducerea prezentului document este permisă numai sub forma sa integrală și cu menționarea sursei.



Membră a
EURPEL

Societatea Inginerilor Energeticieni din România
No. 1, Lacul Tei Avenue, PO/BOX 30-33
020371 Bucharest
Romania

Tel: 4 0722 36 19 54
Fax: (4 021) 610 52 83
Email: office@sier.ro
Websites: www.sier.ro



European Copper Institute
168 Avenue de Tervueren
B-1150 Brussels
Belgium

Tel: 00 32 2 777 70 70
Fax: 00 32 2 777 70 79
Email: eci@eurocopper.org
Website: www.eurocopper.org

Standard EN 50160- Caracteristicile tensiunii în rețelele de distribuție publice

Introducere

Energia electrică este un produs și ca orice produs, trebuie să satisfacă propriile cerințe de calitate. Pentru ca un echipament electric să funcționeze corect, este necesar ca energie electrică să-i fie furnizată la o tensiune cuprinsă într-o anumită bandă în jurul valorii nominale. O mare parte – semnificativă - a echipamentelor utilizate în prezent, în special dispozitive electronice și calculatoare, necesită o bună calitate a energiei electrice. Totuși, aceleași echipamente cauzează adesea o distorsiune a tensiunii de alimentare a instalațiilor ca urmare a caracteristicilor lor nelinare, adică ele conduc la apariția unui curent nesinusoidal atunci când se aplică o tensiune sinusoidală (vezi secțiunea 3.1 a acestui Ghid). Astfel, menținerea unei calități satisfăcătoare a energiei electrice este o responsabilitate comună a furnizorului și utilizatorului de energie electrică. Conform standardului EN 50160 [1] furnizorul este cel care livrează energia electrică printr-un sistem de distribuție public, iar utilizatorul sau consumatorul este achizitorul (cumpărătorul) energiei electrice de la furnizor. Utilizatorul este îndreptățit să primească de la furnizor o energie cu o calitate corespunzătoare. În practică nivelul de calitate a energiei electrice este un compromis între utilizator și furnizor. Dacă calitatea disponibilă nu este suficientă pentru nevoile utilizatorului, sunt necesare măsuri de îmbunătățire a calității și acestea vor fi subiectul unei analize cost-beneficiu (vezi secțiunea 2.5 a acestui Ghid). Totuși, costul unei calități necorespunzătoare a energiei electrice depășește, de regulă, costul măsurilor necesare pentru îmbunătățire - se estimează că pierderile cauzate de o calitate necorespunzătoare a energiei electrice costă industria și comerțul UE aproximativ 10 miliarde de euro pe an (vezi secțiunea 2.1 a acestui Ghid).

Totuși, energia electrică este un produs foarte special. Posibilitatea de stocare a energiei electrice într-o cantitate semnificativă este extrem de limitată astfel că ea este consumată în momentul în care este generată. Măsurarea și evaluarea calității energiei electrice livrate trebuie făcută în momentul consumului ei. Măsurarea calității energiei electrice este complexă, deoarece furnizorul și utilizatorul, ale căror echipamente electrice sensibile sunt și surse de perturbații, privesc problema din perspective diferite.

Standardul CEI 60038 [2] deosebește două tensiuni diferite în rețea și în instalații.

- tensiunea de alimentare care este tensiunea între faze sau fază-neutru în punctul comun de conectare (PCC), adică în punctul principal de alimentare a instalației;
- tensiunea de utilizare, care este tensiunea între faze sau fază-neutru la priză sau borna echipamentului electric.

Principalul document care se referă la cerințele care privește “*partea furnizorului*” este EN 50160 care caracterizează parametrii tensiunii aferenți energiei electrice în sistemele publice de distribuție. Acesta este un standard European dar el este completat în unele regiuni și țări prin alte standarde suplimentare, cum ar fi în Germania [3] sau în Polonia [4]. Multe coduri regionale, ca de exemplu TAB Germania [3] aplicate unei anumite utilități, au fost unificate ca o parte a liberalizării pieței de energie electrică din Germania. Conform cu CEI 60038, ambele standarde EN 50160 și regulile [3, 4] se referă la tensiunea de alimentare, adică măsurată în punctul comun de conectare.

Pe partea utilizatorului, este importantă calitatea energiei electrice disponibilă la echipamentul utilizatorului. O funcționare corectă a echipamentului necesită ca nivelul influenței electromagnetice asupra echipamentului să fie menținut sub anumite limite. Echipamentul este influențat de perturbațiile alimentării și de celelalte echipamente din instalații, după cum el însuși influențează alimentarea. Aceste probleme sunt rezumate în seria EN 61700 a standardelor de compatibilitate electromagnetică (CEM), în care sunt caracterizate limitele pentru perturbațiile de conducție. Sensibilitatea echipamentului la calitatea tensiunii rețelei de alimentare ca și măsurile de îmbunătățire sunt prezentate în secțiunea 3 (Armonici) și secțiunea 5 (Perturbații de tensiune) ale acestui Ghid.

Subiectul acestei secțiuni este prezentarea standardului EN 50160 și o analiză a cerințelor acestuia în concordanță cu funcționarea unui echipament ales. De asemenea, sunt prezentate metode de măsurare ale parametrilor tensiunii de alimentare.

Caracteristicile tensiunii în rețelele de distribuție publice

Definiții de bază ale parametrilor tensiunii

În standardul EN 50160 sunt definiți câțiva parametri ai tensiunii. Cei mai importanți sunt :

Tensiunea de alimentare - valoarea efectivă a tensiunii existente la un moment dat în punctul comun de conectare, măsurată pe un anumit interval de timp.

Tensiunea nominală a sistemului (U_n) – tensiunea pentru care sistemul este proiectat sau identificat și la care se referă anumite caracteristici de funcționare.

Tensiunea de alimentare declarată (U_c) – este, de regulă, tensiunea nominală a sistemului U_n . Dacă, pe baza unei înțelegeri între distribuitor și utilizator în punctul (borna) de livrare a energiei electrice se aplică o tensiune diferită de cea nominală, atunci aceasta este tensiunea de alimentare declarată U_c .

Condiții normale de funcționare - condițiile în care este satisfăcut consumul, manevrele din sistem și eliminarea defectelor prin sisteme automate de protecție în absența unor condiții excepționale datorate influențelor externe sau evenimentelor majore.

Variația tensiunii – este o creștere sau o scădere a tensiunii, datorată variației sarcinii totale a sistemului de distribuție sau unei părți a acestuia.

Flicker – impresia de instabilitate a senzației vizuale indusă de un stimul luminos, a cărui luminanță sau distribuție spectrală fluctuează în timp.

Severitatea Flickerului – intensitatea jenei provocate de flicker definită de metoda UIE-CEI de măsurare a flicker-ului și evaluată prin următoarele mărimi:

- *Severitate de scurtă durată* (P_{st}) măsurată pe o perioadă de 10 minute.
- *Severitate de lungă durată* (P_{lt}) calculată pentru o secvență de 12 valori a P_{st} pe un interval de două ore, conform cu următoarea expresie :

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

Gol de tensiune de alimentare - o reducere bruscă a tensiunii de alimentare la o valoare cuprinsă între 90 % și 1 % din tensiunea declarată U_c , urmată de o restabilire a tensiunii după o perioadă scurtă de timp. Convențional, durata unui gol de tensiune este între 10 ms și 1 minut. Adâncimea unui gol de tensiune este definită ca fiind diferența dintre tensiunea efectivă minimă în timpul golului de tensiune și tensiunea declarată. Variațiile de tensiune care nu reduc tensiunea de alimentare sub 90 % din tensiunea declarată U_c nu sunt considerate ca fiind goluri de tensiune.

Înteruperea alimentării – este situația în care tensiunea la bornele de alimentare este mai mică decât 1 % din tensiunea declarată, U_c . O întrerupere a alimentării poate fi clasificată astfel:

- *programată*, când consumatorii sunt anunțați anterior pentru a permite executarea unor lucrări programate în rețeaua de distribuție,
- *accidentală*, cauzată de defecte permanente (întreruperi de lungă durată) sau trecătoare (întreruperi de scurtă durată), în majoritate datorate unor evenimente externe, defectări de echipament sau interferențe.

Supratensiuni temporare de frecvență industrială – au o durată relativ mare, de regulă, de câteva perioade de frecvență industrială, și se datorează, în principal, manevrelor sau incidentelor, de exemplu în cazul unei reduceri brusce a sarcinii sau a deconectării unor scurtcircuite.

Supratensiuni tranzitorii - sunt oscilatorii sau neoscilatorii, amortizate rapid, supratensiuni scurte cu o durată de câteva milisecunde sau mai puțin, datorate trăsnetului sau unor comutații, de exemplu deconectarea unui curent inductiv.

Tensiunea armonică - o tensiune sinusoidală cu o frecvență egală cu un multiplu întreg al frecvenței fundamentale a tensiunii de alimentare. Tensiunile armonice pot fi evaluate :

- *individual*, prin amplitudinea lor relativă U_h , raportată la tensiunea fundamentală U_1 , unde h este ordinul armonicii;

Caracteristicile tensiunii în rețelele de distribuție publice

- *global*, de regulă prin factorul total de distorsiune armonică THD_U , calculat utilizând expresia :

$$THD_U = \sqrt{\sum_{k=2}^{40} \left(\frac{U_h}{U_1}\right)^2} \quad (2)$$

Tensiune interarmonică – este o tensiune sinusoidală cu frecvență între armonici, adică frecvența nu este un multiplu întreg al fundamentalei.

Nesimetrie de tensiune - situația în care valorile efective ale tensiunilor de fază sau unghiurile dintre faze consecutive într-un sistem trifazat nu sunt egale.

Principalele recomandări ale EN 50160

EN 50160 dă principalii parametri ai tensiunii și banda de abatere admisibilă în punctul comun de conectare al unui consumator cuplat la o rețea de distribuție publice de joasă tensiune (JT) și medie tensiune (MT), în condiții normale de funcționare. În acest context, JT înseamnă că valoarea efectivă nominală a tensiunii între faze nu trebuie să depășească 1000 V și MT înseamnă că valoarea efectivă nominală a tensiunii între faze este între 1 kV și 35 kV.

Comparația dintre prevederile EN 50160 și cele ale standardelor de compatibilitate electromagnetică seria EN 61000, listate în tabelele 1 și 2, arată diferențe semnificative ale diferiților parametri. Există două motive principale pentru aceste diferențe:

- Standardele de compatibilitate electromagnetică se referă la tensiunea distribuitorului, conform CEI 038, în timp ce EN 50160 se referă la tensiunea de alimentare. Diferența dintre aceste tensiuni se datorează căderilor de tensiune în instalații și perturbațiilor care provin din rețea și de la alte echipamente alimentate prin aceeași instalație. Datorită acestui fapt, în multe standarde din seria EN 61000 un parametru important este curentul echipamentului, în timp ce curentul de sarcină nu este relevant pentru EN 50160.
- EN 50160 dă numai limite generale, care sunt tehnic și economic posibil să fie menținute de furnizor într-un sistem de distribuție publică. Când se cer condiții mai riguroase, trebuie negociată o înțelegere separată între furnizor și consumator. Măsurile de îmbunătățire a calității energiei electrice care necesită costuri și echipamente suplimentare, sunt tratate în alte secțiuni ale acestui Ghid.
- EN 50160 are limitări suplimentare. El nu se aplică în condiții de funcționare anormale, inclusiv următoarele:
 - condiții care apar ca rezultat al unui defect sau a unor condiții temporare de alimentare;
 - în situația în care instalația sau echipamentul consumatorului nu este în conformitate cu standardele la care se referă sau nu satisface condițiile tehnice de racordare la sistemul electric de distribuție;
 - în situația în care o instalație de generare nu este în conformitate cu standardele la care se referă sau cu cerințele tehnice pentru racordare la sistemul electric de distribuție;
 - în situații excepționale care sunt în afara controlului furnizorului de energie electrică, în particular:
 - condiții atmosferice excepționale sau alte dezastre naturale;
 - interferența cu o terță parte;
 - acțiuni ale autorităților publice;
 - acțiuni ale industriei (dependent de cerințe legale);
 - forță majoră;
 - limitări de putere rezultate din evenimente externe.

Așa cum arată analiza parametrilor prezentați în Tabelul 1, aceste cerințe nu sunt deosebit de riguroase pentru furnizor. Numeroasele situații în care standardul nu se aplică poate scuza majoritatea incidentelor și a evenimentelor cu perturbații ale tensiunii care pot apare în practică. De aceea mulți furnizori consideră că recomandările EN 50160 ca fiind, în principal, informative și nu-și asumă nici o responsabilitate când limitele sunt depășite.

Caracteristicile tensiunii în rețelele de distribuție publice

Nr. crt.	Parametrii	Caracteristicile tensiunii de alimentare conform EN 50160	Caracteristicile tensiunii joase conform standardului de compatibilitate electromagnetică EN 61000	
			EN 61000-2-2	Alte părți
1.	Frecvența	JT, MT: valoarea medie a fundamentalei măsurată pe 10s $\pm 1\%$ (49,5 - 50,5 Hz) pentru 99,5% din săptămână - 6 % / + 4% (47 - 52 Hz) pentru 100% din săptămână	2%	
2.	Variațiile amplitudinii tensiunii	JT, MT: $\pm 10\%$ pentru 95% din săptămână, media pe 10 minute a valorilor efective (Fig.1)		$\pm 10\%$ aplicată pentru 15 minute
3.	Variații rapide ale tensiunii	JT: 5 % normal 10 % nefrecvent $P_{lt} \leq 1$ pentru 95 % din săptămână MT: 4 % normal 6 % nefrecvent $P_{lt} \leq 1$ pentru 95 % din săptămână	3 % normal 8 % nefrecvent $P_{st} < 1,0$ $P_{lt} < 0,8$	3 % normal 4 % maxim $P_{st} < 1$ $P_{lt} < 0,65$ (EN 61000-3-3) 3 % (CEI 61000-2-12)
4.	Goluri ale tensiunii de alimentare	În majoritate: durata < 1s ,adâncimea < 60%. Goluri limitate local datorate cuplării unei sarcini: JT: 10-50 %, MT: 10-15 % (Fig.1)	urbane : 1-4 pe lună	până la 30 % pentru 10 ms până la 60 % pentru 100 ms (EN 61000-6-1, 6-2) până la 60 % pentru 1000 ms (EN 61000-6-2)
5.	Înteruperi de scurtă durată ale tensiunii de alimentare	JT, MT: (până la 3 minute) câteva zeci -câteva sute/an Durata pentru 70 % din ele < 1s		95 % reducere pe 5s (EN 61000-6-1, 6-2)
6.	Înteruperi de lungă durată ale tensiunii de alimentare	JT, MT: (până la 3 minute) < 10 – 50 / an		
7.	Supratensiuni temporare de frecvență industrială	JT < 1,5 kV valoarea efectivă MT: 1,7 U_c (în rețele cu neutru legat direct la pământ sau printr-o impedanță) 2 U_c (în rețele cu neutru izolat sau legat printr-o bobină de rezonanță)		
8.	Supratensiuni tranzitorii	JT: în general < 6 kV ocasional mai mari; durata ms- μ s MT: nedefinite		± 2 kV, fază- pământ ± 1 kV, între faze 1,2/50 (8/20) T_r/T_h μ s (EN 61000-6-1,6-2)
9.	Nesimetria tensiunii de alimentare	JT, MT: până la 2 % pentru 95 % din săptămână, media valorilor efective pe 10 minute. până la 3 % în unele puncte.	2%	2% (CEI 61000-2-12)
10.	Tensiuni armonice	JT, MT: vezi Tabelul 2.	6 % - armonica 5 5 % - armonica 7 3,5 %-armonica 11 3,0 %-armonica 13 THD < 8 %	5 % - armonica 3 6 % - armonica 5 5 % - armonica 7 1,5 %-armonica 9 3,5 %-armonica 11 3 %-armonica 13 0,3 %-armonica 15 2 %-armonica 17 (EN 61000-3-2)
11.	Tensiuni interarmonice	JT, MT: în studiu	0,2 %	

Tabelul 1- Comparația între reglementările pentru tensiunea de alimentare conform EN 50160 și standardele EN 61000 de compatibilitate electromagnetică

Caracteristicile tensiunii în rețelele de distribuție publice

Pe de altă parte, punctul de vedere al consumatorilor este, de regulă, total diferit – ei consideră limitele date de EN 50160 ca reglementări care trebuie garantate de furnizor. Totuși, cum s-a menționat anterior, pentru multe mulți consumatori, chiar îndeplinirea cerințelor indicate în EN 50160 nu asigură un nivel de calitate a energiei electrice satisfăcător. În astfel de cazuri nivelul calității energiei electrice trebuie definit printr-o înțelegere între furnizor și consumator.

Armonici impare				Armonici pare	
Nemultiplu de 3		Multiplu de 3			
Ordinul h	Tensiunea relativă %	Ordinul h	Tensiunea relativă %	Ordinul h	Tensiunea relativă %
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,5	6...24	0,5
13	3	21	0,5		
17	2				
19	1,5				
23	1,5				
25	1,5				

Tabelul 2. Valorile tensiunilor fiecărei armonici la bornele (punctele) de alimentare, pentru armonici de ordin de până la 25, date în procente din U_n

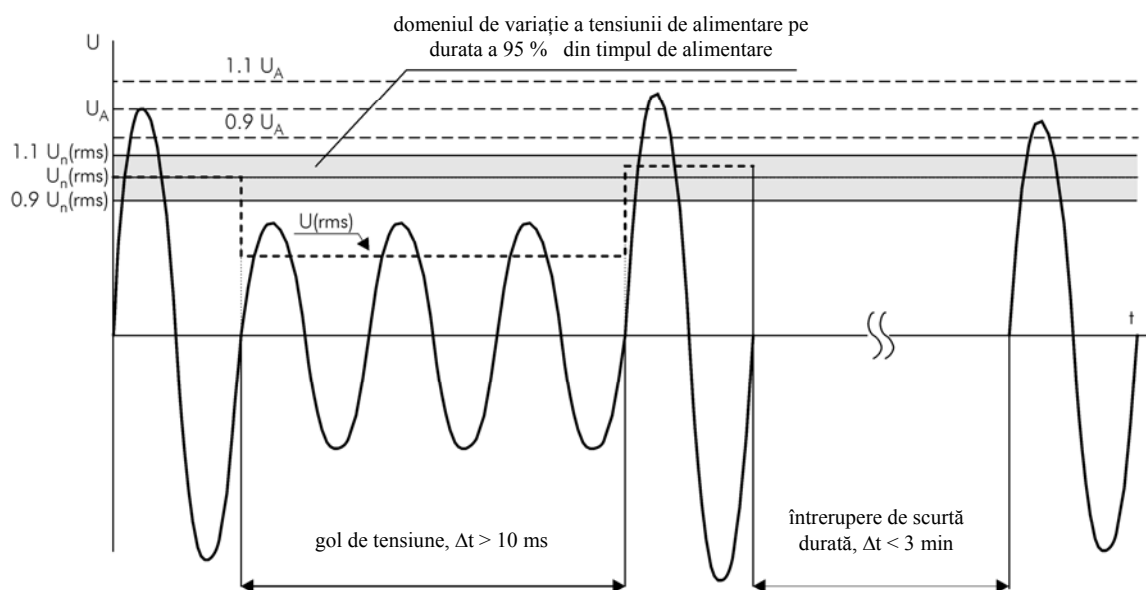


Fig. 1 – Ilustrarea unui gol de tensiune și a unei întreruperi scurte a alimentării, clasificate în conformitate cu EN 50160; U_n – tensiunea nominală a rețelei de alimentare (valoare efectivă); U_A – amplitudinea tensiunii de alimentare; U (valoare efectivă) – valoarea efectivă curentă a tensiunii de alimentare

Funcționarea echipamentelor și reglementări ale EN 50160

Funcționarea corectă a echipamentelor electrice necesită o tensiune de alimentare cât mai aproape de cea nominală. Chiar abateri relativ mici de la valoarea nominală poate produce o funcționare sub-optimală a echipamentelor adică o funcționare cu o eficiență redusă sau un consum mărit de putere cu pierderi suplimentare și reducerea duratei de viață. Uneori funcționarea cu abateri pe durate prelungite poate determina funcționarea

Caracteristicile tensiunii în rețelele de distribuție publice

dispozitivelor de protecție, rezultând daune. Evident, corecta funcționare a echipamentului depinde și de mai mulți alți factori, precum condițiile de mediu și corecta selectare și instalare.

Investigarea influenței fiecăruia dintre parametrii tensiunii de alimentare asupra funcționării echipamentului este ușor de făcut, dar când parametrii variază simultan, situația este mult mai complexă. În unele cazuri, după o analiză de detaliu a efectelor a fiecăruia dintre diferiți parametri ai tensiunii, rezultatele pot fi suprapuse cu scopul de a estima influența totală a mai multor parametri. Influența unui parametru asupra funcționării echipamentului se face pe baza formulei matematice care descrie fenomenul fizic analizat. Urmează două exemple referitoare la iluminat și motoare.

Pentru surse de iluminat incandescente, tensiunea de alimentare este influența cea mai importantă asupra fluxului luminos, așa cum rezultă din Fig.2 și formula (3). Variațiile tensiunii de alimentare în conformitate cu EN 50160 pot cauza variații semnificative de flux. EN 50160 permite, de exemplu, ca tensiunea de alimentare să poată fi egală cu $U_n - 10\%$ sau $U_n + 10\%$ pentru o lungă perioadă, astfel o lampă cu incandescență poate livra respectiv un flux luminos nu mai mic de 70 % sau nu mai mare de 140 % din fluxul său luminos nominal. Mai mult, la $U_n + 10\%$ durata de viață a lămpii se reduce la aproximativ 25 % din valoarea nominală (Fig.3), adică la aproximativ 250 ore în loc de durata tipică de viață de 1000 ore. De notat că durabilitatea lămpilor fluorescente sau cu descărcări depinde în principal de numărul de cicluri de cuplare. Efectul variațiilor de alimentare este mic. Valorile arătate în Fig. 2 și 3 sunt calculate pentru funcționarea la o tensiune staționară de o anumită valoare.

În practică valoarea tensiunii se schimbă continuu în funcție de regimul de funcționare și consumul din rețea, așa cum se arată ca exemplu în Fig. 4. Descrierea matematică a caracteristicilor prezentate în Fig. 2 și 3 este:

$$\frac{F}{F_n} = \left(\frac{U}{U_n} \right)^b \quad (3)$$

unde :

F – fluxul luminos

U – tensiunea de alimentare

F_n – fluxul luminos la valoarea nominală a tensiunii de alimentare U_n

b – factor egal cu 3,6 pentru lampa cu incandescență și 1,6 pentru lămpile cu descărcări

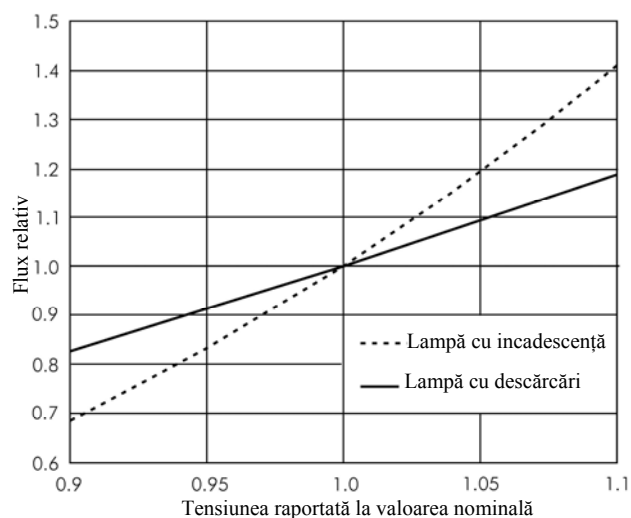


Fig. 2 – Valoarea relativă a fluxului luminos F la o lampă cu incandescență și la o lampă cu descărcări în funcție de tensiunea de alimentare, conform formulei (3)

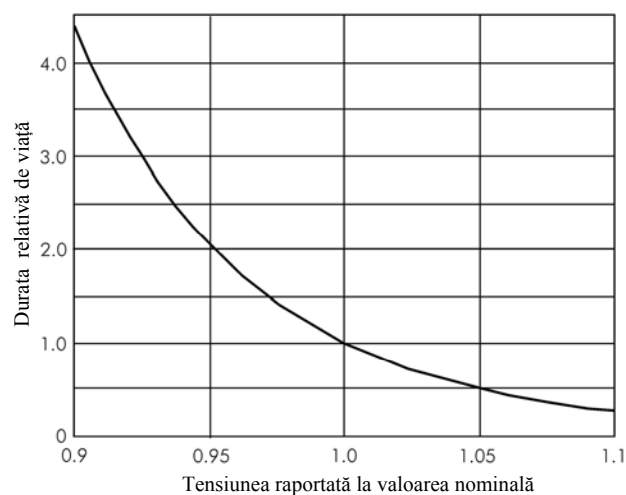


Fig. 3 – Valoarea relativă a duratei de viață a unei lămpi cu incandescență în funcție de tensiunea de alimentare, conform formulei (4)

Caracteristicile tensiunii în rețelele de distribuție publice

$$\frac{D}{D_n} = \left(\frac{U}{U_n} \right)^{-14} \quad (4)$$

unde:

D - durata de viață a lămpii cu incandescență

D_n - durata de viață la valoarea nominală a tensiunii de alimentare U_n

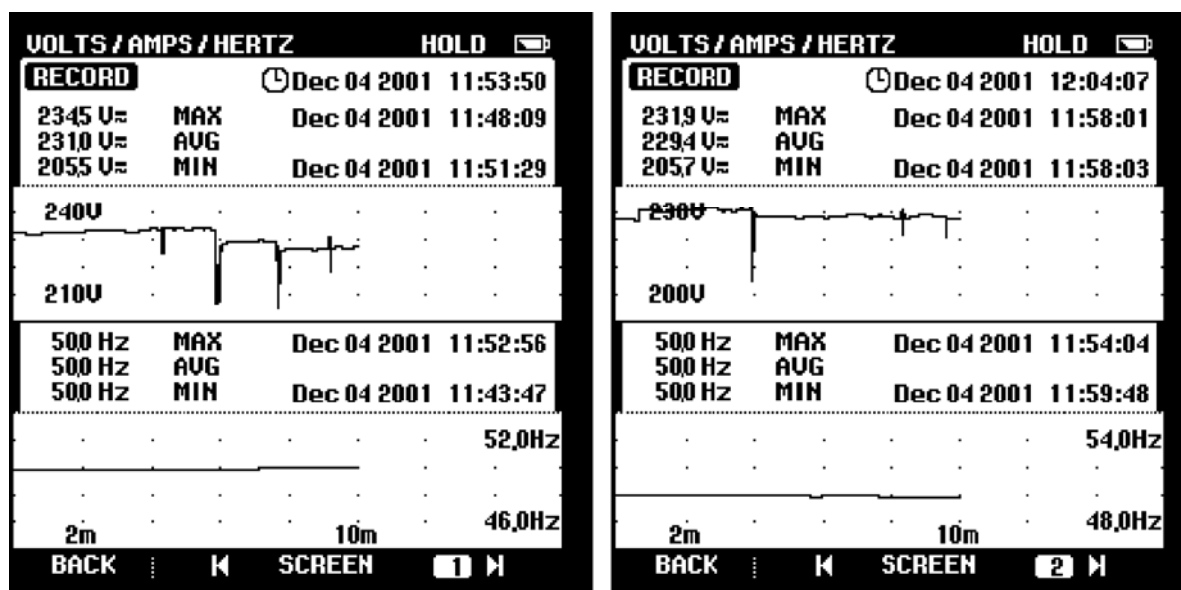


Fig. 4 - Exemple de gol de tensiune (valoarea efectivă a tensiunii fază-pământ); oscilogrammele arată tensiunea de alimentare (traseul de sus) și frecvența variațiilor (modificărilor) (traseul de jos), în punctul comun de conectare la o fabrică mică.

Se poate vedea că reglementările privind variațiile de tensiune din EN 50160 nu sunt foarte riguroase. Chiar și variația tensiunii în limitele admise de $\pm 10\%$, poate conduce la performanțe scăzute ale surselor de iluminat. În practică aceste variații ar trebui limitate la aproximativ $\pm (3 - 4)\%$ pentru a se evita consecințele negative în iluminat.

Fluctuațiile de tensiune prezentate în Fig. 4 ilustrează influența tensiunii asupra severității flicker-ului, care poate fi măsurată și calculată conform formulei (1). Măsurarea flickerului este tratată într-o secțiune a Ghidului.

Pentru motoarele electrice cel mai semnificativ factor este fluctuația (variația) cuplului, care depinde de pătratul valorii tensiunii de alimentare. Problemele pot apărea și în timpul pornirii unor sarcini grele (mari), deoarece curentul de pornire determină o cădere de tensiune suplimentară în instalație (Fig. 5). În practică, pentru majoritatea motoarelor electrice trifazate, pornirea se produce normal la aproximativ 85 % din tensiune nominală la sarcini grele (mari) și la aproximativ 70 % pentru sarcini ușoare (mici). Deci, prevederile EN 50160 referitoare la fluctuația tensiunii sunt satisfăcătoare în acest caz. Totuși, funcționarea prelungită a motorului la o valoare efectivă a tensiunii $U_n - 10\%$ sau $U_n + 10\%$ poate conduce la alte consecințe negative: suprasarcină și funcționarea protecției termice în primul caz sau funcționarea la o putere excesivă și acționarea protecției în al doilea caz. Toate golurile de tensiune pot cauza declanșarea intempestivă a protecției motorului.

Influența curentului de sarcină asupra tensiunii de alimentare a instalației depinde de impedanța rețelei de alimentare. Tensiunea de utilizare (aplicată) la echipament depinde de impedanța rețelei de alimentare și cea din instalația consumatorului. O ilustrare a influenței curentului de sarcină asupra tensiunii de alimentare este prezentată în Fig. 6.

Caracteristicile tensiunii în rețelele de distribuție publice

Alte probleme importante pentru motoare sunt armonicile de tensiune și nesimetria tensiunii de alimentare. Nesimetria tensiunii în rețelele trifazate produce un cuplu invers proporțional cu componenta de secvență negativă a tensiunii. Fiecare armonică de tensiune produce un curent de aceeași frecvență și propriul cuplu, care poate fi în același sens sau de sens opus cu cuplul principal, pentru diferite valori ale alunecării. Cele mai importante sunt aici armonicile 5 și 7. În Fig. 7 se prezintă un caz în care cuplul armonicii 7 poate cauza probleme la pornirea motorului, unde curbele cuplului caracteristic și ale cuplului de frânare se intersectează.

Pentru alte echipamente electrice relația dintre tensiunea de alimentare și puterea sau eficiența lor poate fi semnificativă. Pentru majoritatea echipamentelor, variațiile de tensiune în banda $(0,9-1,1)U_n$ nu conduce la consecințe negative, în special în cazul dispozitivelor curente de încălzire. Pentru echipamentele cu o sensibilitate mai mare la tensiune de alimentare trebuie prevăzută o protecție corespunzătoare.

Metode de măsurare

Măsurarea și verificarea calității tensiunii de alimentare, conform EN 50160, necesită aparate și metode de măsurare specializate (vezi secțiunile 3.2 și 5.2 din Ghid). Această reglementare face posibilă monitorizarea continuă, pe durata a 7 zile, a următorilor parametri:

- tensiunea pe cele trei faze;
- frecvența;
- factorul de distorsiune armonic total al tensiunii THD_U ;
- factorul de nesimetrie al tensiunii, care este raportul dintre componenta negativă și cea pozitivă a tensiunii;
- variațiile rapide și lente ale tensiunii, care sunt definite ca factori de severitate de flicker de scurtă durată (P_{st}) și de lungă durată (P_{lt}) (ecuația (1)).

Acest tip de aparat permite totodată măsurarea golurilor și întreruperilor de tensiune, frecvența și duratele lor.

Parametrii mășurați sunt procesați și înregistrați pe segmente de 10 minute (1008 segmente în 7 zile). Pentru fiecare segment se calculează valoarea medie a parametrului măsurat. După perioada de înregistrare de 7 zile se întocmește o "curbă clasată" care reprezintă suma duratelor cu un anumit nivel de distorsiune în perioada în care s-a făcut monitorizarea (Pentru mășuratori frecvente, durata fiecărui segment este 10 s).

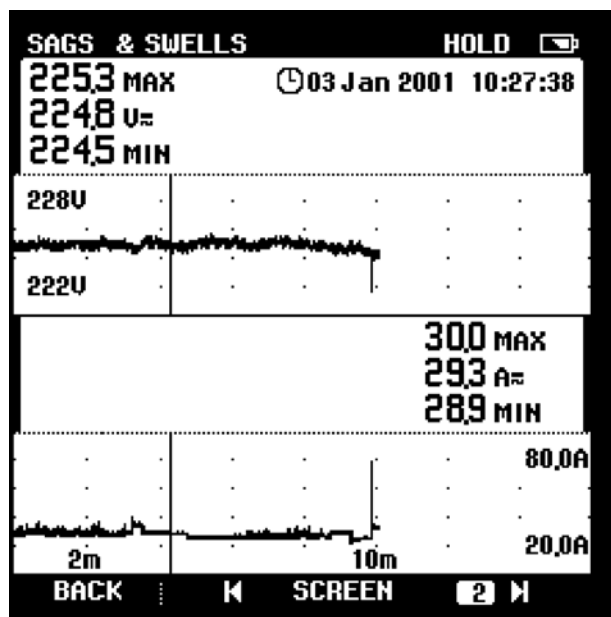


Fig. 5- Exemplu de variație a tensiunii de alimentare (traseul de sus) la pornirea unui motor asincron; traseul de jos – curentul de sarcină în instalația alimentată a unei mici fabrici; vârful la sfârșitul circulației curentului de pornire.

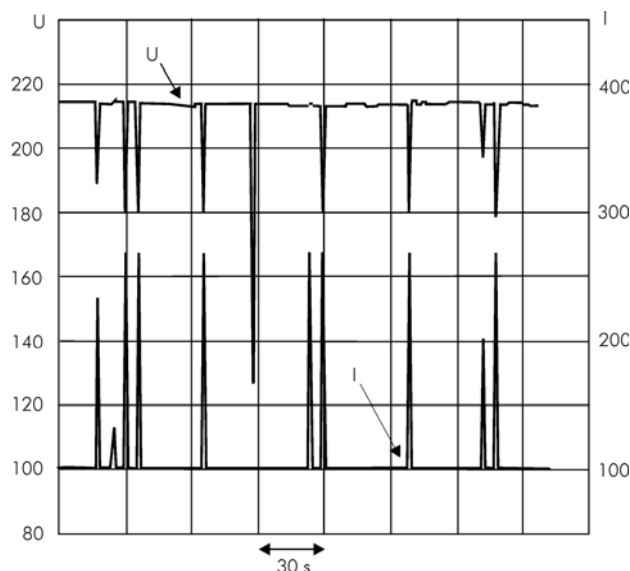


Fig. 6 - Ilustrarea influenței curentului de sarcină asupra golurilor de tensiune într-o instalație electrică.

Caracteristicile tensiunii în rețelele de distribuție publice

Un exemplu de “curbă clasată” este prezentat în Fig. 8. Rezultă clar că parametrii mășurați ai tensiunii s-au menținut la nivelul admisibil pentru 95 % din timpul de monitorizare (Tabelul 1).

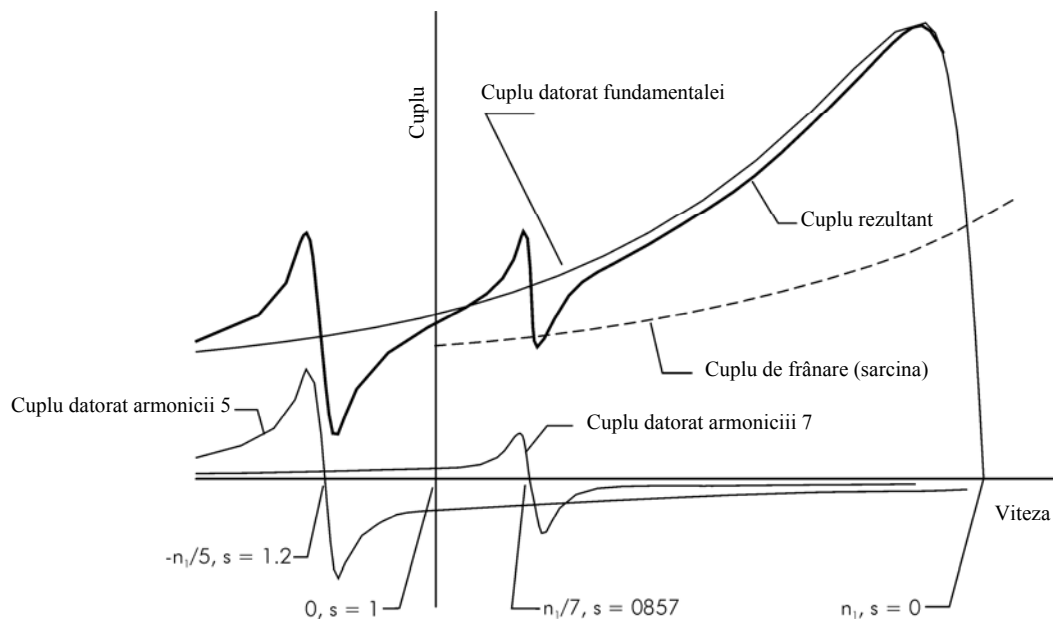


Fig. 7- Influența cuplurilor asincrone produse de armonici asupra caracteristicii cuplului principal al unui motor asincron.

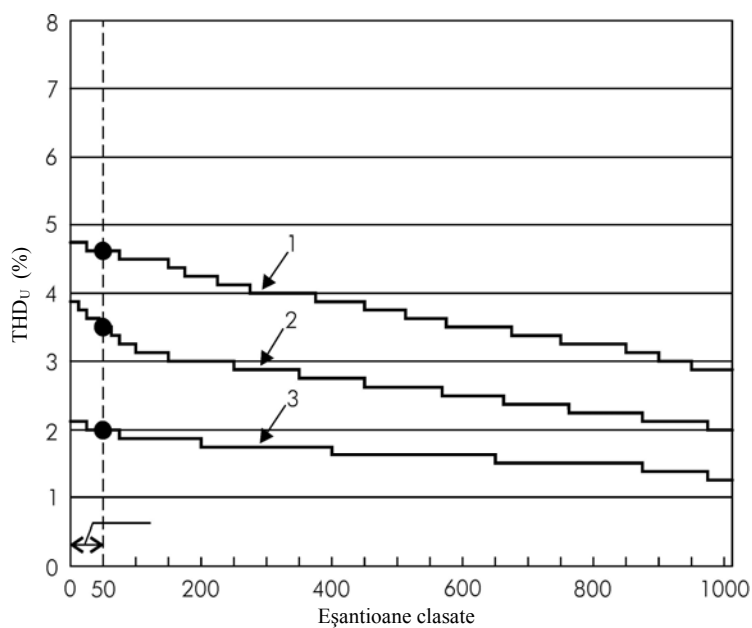


Fig. 8 - Exemplu de curbă clasată a factorului de distorsiune armonic total THD_U măsurat în stații care alimentează un consum industrial la joasă tensiune (1 și 3) și o rețea orășănească (2).

Caracteristicile tensiunii în rețelele de distribuție publice

Perspective în alte țări

Așa cum s-a menționat mai înainte, în timp ce EN 50160 dă limite generale pentru rețelele publice de alimentare, diferite țări din Europa au reguli suplimentare care guvernează condițiile de alimentare. Multe dintre aceste reglementări naționale acoperă arii neincluse în EN 50160, ca de exemplu sarcina armonică maximă permisă a fi conectată în punctul comun de conectare.

Standardul național german VDE 0100 stabilește că parametrii referitori la tensiune definiți în DIN EN 50160 reflectă situații extreme în rețea și nu reprezintă condiții tipice. În planificarea rețelelor trebuie respectate recomandările din VDE 0100. Una dintre reglementările TAB [3] dă valori maxime (per unit) pentru sarcini rezistive comandate (1700 VA monofazat, 3300 VA bifazat și 5000 VA trifazat echilibrat) și pentru sarcinile redresoarelor necomandate cu netezire capacitivă (300 VA monofazat, 600 VA bifazat și 1000 VA trifazat echilibrat). Standardul pentru echipament VDE 0838 (EN 60555) este de asemenea citat.

În Polonia regulile pentru distribuția energiei electrice stabilite de guvern [4] dau parametrii fundamentali ai tensiunii de alimentare (Tabel 3) și nu se referă la EN 50160. În plus, consumatorii sunt împărțiți în șase grupe, pentru fiecare separat sunt definite duratele admisibile pentru timpul anual total de întrerupere. Documentul tratează, de asemenea, în amănunțime diferitele aspecte economice ale pieții de energie, principiile de negociere între companiile de rețea și de distribuție etc.

Parametrii tensiunii de alimentare	Limite stabilite conform [4]
Frecvența	JT și MT: 50 Hz nominal (49,5-50,2 Hz)
Amplitudinea tensiunii	JT și MT: - 10 % - + 5 % din valoarea efectivă pe 15 minute
Armonici	JT: $THD_U \leq 8 \%$, orice armonică / $U_1 \leq 5 \%$ MT: $THD_U \leq 5 \%$, orice armonică / $U_1 \leq 3 \%$
Întreruperi de lungă durată	JT și MT: 60 h/an până la 31 Dec.2004 48 h/an după 1 Ianuarie 2005

Tabelul 3. Reglementări referitoare la tensiunea de alimentare în rețelele de distribuție din Polonia [4]

În Italia există un document important referitor la continuitatea alimentării asigurate [8]. Autoritatea de Reglementare pentru Electricitate și Gaze din Italia (AEEG) a eliminat practic un sistem unic de indicatori referitori la continuitatea serviciului și l-a înlocuit cu un sistem de stimulări și penalizări pentru a aduce progresiv nivelul de continuitate la nivelul standardelor Europene. Autoritatea a împărțit teritoriul național în 230 zone geografice, subîmpărțite în zone după densitatea populației și a emis sarcini pentru fiecare zonă pe baza performanțelor din anii anteriori. Utilitățile care reușesc o îmbunătățire peste valoarea reglementată își pot recupera costurile suplimentare. Invers, companiile trebuie să plătească penalizări dacă ei nu îndeplinesc cerințele (ținta) de îmbunătățire. Întreruperile datorate acțiunilor lui Dumnezeu, în cazurile în care se datoresc unei terțe părți, nu sunt incluse în calcul. Ținta generală de performanță este de a aduce nivelurile de continuitate la nivelurile pieței naționale bazată pe standardele europene: 30 minute de întrerupere în total pe consumator și an în marile orașe (densitate mare); 45 minute în orașe de mărime mijlocie (densitate medie) și 60 minute în zone rurale rural (densitate mică). Alte țări au regimuri similare impuse de către autoritățile de reglementare.

În Regatul Unit există un număr de documente care alcătuiesc codul de distribuție. Unul dintre cele mai importante este G5/4 – discutat într-o altă secțiune a *Ghidului* - care reglementează racordarea sarcinilor armonice în punctul comun de conectare. Măsurile pentru încurajarea îmbunătățirii continuității sunt în responsabilitatea oficiului pentru piețele de Gaz și Electricitate (OFGEM).

Caracteristicile tensiunii în rețelele de distribuție publice

Concluzii

Cerințele din EN 50160 nu sunt greu de îndeplinit de furnizorii de energie electrică. Parametrii tensiunii de alimentare trebuie să fie în anumite limite (Tabel 1) timp de 95 % din perioada de testare, în timp ce pentru restul perioadei de 5 % abaterile permise sunt mult mai mari. De exemplu, valoarea medie pentru 95 % din timp trebuie să fie între 90 % și 110 % din tensiunea nominală. Asta înseamnă că într-un caz extrem, consumatorii pot fi alimentați continuu la 90 % din tensiunea nominală, iar, pentru 5 % din timp, tensiunea poate fi mult mai mică. Dacă, într-o astfel de situație limită, alți parametri sunt la limita permisă în standard, ca de exemplu tensiunile armonice sau nesimetria de tensiuni, echipamentul va funcționa probabil necorespunzător.

Standardul ar putea fi îmbunătățit. De exemplu, cerând ca valorile medii ale parametrilor tensiunii măsurate pe întreaga perioadă de testare în intervalul $\pm 5\%$ s-ar garanta că tensiunea de alimentare nu poate fi menținută o perioadă îndelungată la limita de jos sau de sus a valorii.

Numărul de goluri de tensiune admise (până la 1000 într-un an) și numărul întreruperilor de scurtă și lungă durată sunt destul de mari din punctul de vedere al consumatorilor. Golurile de tensiune sub 30 % din tensiunea nominală cu o durată mai mare de 0,3 s pot conduce la acționarea protecției de minimă tensiune sau la declanșarea contactoarelor din circuitele motoarelor. Astfel, numărul real al întreruperilor procesului va fi mult mai mare decât ar fi de așteptat ca rezultat al întreruperii tensiunii.

EN 50160 trebuie înțeles ca un compromis între furnizor și consumator. El cere ca furnizorul să asigure, ca o cerință minimală, numai o alimentare de calitate adecvată. Cei mai mulți furnizori depășesc curent aceste cerințe într-o mare măsură, dar nu garantează aceasta. Dacă consumatorul are cerințe mai ridicate, trebuie să se ia măsuri de îmbunătățire sau trebuie să se negocieze o înțelegere separată pentru o calitate superioară. Totuși, avantajul important al acestui standard constă în:

- definirea parametrilor de tensiune importanți pentru calitatea energiei electrice;
- determinarea cantitativă a valorilor, care sunt punct de referință în evaluarea calității energiei electrice.

Este sarcina reglementatorului de energie electrică să stabilească un nivel de calitate care să ceară o foarte bună activitate a furnizorului, dar să nu se ridice nivelul prea sus deoarece conduce la o creștere a prețului energiei electrice pentru toți.

Referințe și bibliografie

- [1] EN 50160, *Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems*, 1999
- [2] IEC 038, *IEC standard voltages*, 1999
- [3] *Technische Anschlussbedingungen (Technical requirements of connection)*, VDEW
- [4] *Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 25 września 2000, w sprawie szczegółowych warunków przyłączenia podmiotów do sieci elektroenergetycznych, obrotu energia elektryczna, świadczenia usług przesyłowych, ruchu sieciowego i eksploatacji sieci oraz standardów jakościowych obsługi odbiorców. Dziennik Ustaw Nr 85, poz. 957 (Rules of detailed conditions of connection of consumers to the electrical power network and quality requirements in Poland).*
- [5] Baranek A et al, *Poprawa jakości zasilania w sieciach NN i SN. (Improvement of supply quality in LV and MV networks)*, *Elektronizacja 1-2/2001*
- [6] Seipp G G, *Elektrische Installationstechnik*, Berlin – München, Siemens AG, 1993
- [7] DIN VDE 0100-100 (VDE 0100 part 100): 2002-08
- [8] *Decision 128/1999: Definizione di obblighi di registrazione delle interruzioni del servizio di distribuzione dell'energia elettrica e di indicatori di continuità del servizio*
- [9] *Decision 144/00: Determinazione dei livelli effettivi base e dei livelli tendenziali di continuità del servizio per ogni ambito territoriale e per ogni anno del periodo 2000-2003 ai sensi dell'articolo 7 della deliberazione dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas 28 dicembre 1999, n. 202/99 e per la determinazione della media nazionale dei livelli tendenziali di continuità del servizio per l'anno 2004, ai sensi dell'articolo 9, comma 9.4, della medesima deliberazione.*

Note

Parteneri de Referință & Fondatori*

European Copper Institute* (ECI) www.eurocopper.org	ETSII - Universidad Politécnica de Madrid www.etsii.upm.es	LEM Instruments www.lem.com
Akademia Gorniczo-Hutnicza (AGH) www.agh.edu.pl	Fluke Europe www.fluke.com	MGE UPS Systems www.mgeups.com
Centre d'Innovació Tecnològica en Convertidors Estàtics i Accionaments (CITCEA) www.citcea.upc.es	Hochschule für Technik und Wirtschaft* (HTW) www.htw-saarland.de	Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg www.uni-magdeburg.de
Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI) www.ceiuni.it	Hogeschool West-Vlaanderen Departement PIH www.pih.be	Polish Copper Promotion Centre* (PCPC) www.miedz.org.pl
Copper Benelux* www.copperbenelux.org	International Union for Electricity Applications (UIE) www.uei.org	Università di Bergamo* www.unibg.it
Copper Development Association* (CDA UK) www.cda.org.uk	ISR - Universidade de Coimbra www.isr.uc.pt	University of Bath www.bath.ac.uk
Deutsches Kupferinstitut* (DKI) www.kupferinstitut.de	Istituto Italiano del Rame* (IIR) www.iir.it	University of Manchester Institute of Science and Technology (UMIST) www.umist.ac.uk
Engineering Consulting & Design* (ECD) www.ecd.it	Katholieke Universiteit Leuven* (KU Leuven) www.kuleuven.ac.be	Wroclaw University of Technology* www.pwr.wroc.pl
EPRI PEAC Corporation www.epri-peac.com	Laborelec www.laborelec.com	

Consiliul de redacție

David Chapman (Chief Editor)	CDA UK	david.chapman@copperdev.co.uk
Prof Angelo Baggini	Università di Bergamo	angelo.baggini@unibg.it
Dr Araceli Hernández Bayo	ETSII - Universidad Politécnica de Madrid	ahernandez@etsii.upm.es
Prof Ronnie Belmans	UIE	ronnie.belmans@esat.kuleuven.ac.be
Dr Franco Bua	ECD	franco.bua@ecd.it
Jean-Francois Christin jean-	MGE UPS Systems	francois.christin@mgeups.com
Prof Anibal de Almeida	ISR - Universidade de Coimbra	adealmeida@isr.uc.pt
Hans De Keulenaer	ECI	hdk@eurocopper.org
Prof Jan Desmet	Hogeschool West-Vlaanderen	jan.desmet@howest.be
Dr ir Marcel Didden	Laborelec	marcel.didden@laborelec.com
Dr Johan Driesen	KU Leuven	johan.driesen@esat.kuleuven.ac.be
Stefan Fassbinder	DKI	sfassbinder@kupferinstitut.de
Prof Zbigniew Hanzelka	Akademia Gorniczo-Hutnicza	hanzel@uci.agh.edu.pl
Stephanie Horton	LEM Instruments	sho@lem.com
Dr Antoni Klajn	Wroclaw University of Technology	antoni.klajn@pwr.wroc.pl
Prof Wolfgang Langguth	HTW	wlang@htw-saarland.de
Jonathan Manson	Gorham & Partners Ltd	jonathanm@gorham.org
Prof Henryk Markiewicz	Wroclaw University of Technology	henryk.markiewicz@pwr.wroc.pl
Carlo Masetti	CEI	masetti@ceiuni.it
Mark McGranaghan	EPRI PEAC Corporation	mmcgranaghan@epri-peac.com
Dr Jovica Milanovic	UMIST	jovica.milanovic@umist.ac.uk
Dr Miles Redfern	University of Bath	eesmar@bath.ac.uk
Dr ir Tom Sels	KU Leuven	tom.sels@esat.kuleuven.ac.be
Prof Dr-Ing Zbigniew Styczynski	Universität Magdeburg	Sty@E-Technik.Uni-Magdeburg.de
Andreas Sumper	CITCEA	sumper@citcea.upc.es
Roman Targosz	PCPC	cem@miedz.org.pl
Hans van den Brink	Fluke Europe	hans.van.den.brink@fluke.nl



Prof Henryk Markiewicz



Wroclaw University of Technology
Wybrzeze Wyspianskiego 27
50-370 Wroclaw
Poland
Tel: 00 48 71 3203 424
Fax: 00 48 71 3203 596
Email: henryk.markiewicz@pwr.wroc.pl
Web: www.pwr.wroc.pl



Dr Antoni Klajn



Wroclaw University of Technology
Wybrzeze Wyspianskiego 27
50-370 Wroclaw
Poland
Tel: 00 48 71 3203 920
Fax: 00 48 71 3203 596
Email: antoni.klajn@pwr.wroc.pl
Web: www.pwr.wroc.pl



Membră a
EUREL

Societatea Inginerilor Energeticieni din România
No. 1, Lacul Tei Avenue, PO/BOX 30-33
020371 Bucharest
Romania

Tel: 4 0722 36 19 54
Fax: (4 021) 610 52 83
Email: office@sier.ro
Websites: www.sier.ro

europaean
COPPER
institute

European Copper Institute
168 Avenue de Tervueren
B-1150 Brussels
Belgium

Tel: 00 32 2 777 70 70
Fax: 00 32 2 777 70 79
Email: eci@eurocopper.org
Website: www.eurocopper.org