

# CARACTERISTICILE TENSIUNII ÎN REȚELELE DE DISTRIBUȚIE PUBLICE

**Autori: Grigore GONCEAR, st. gr. EE-111  
conf. univ., d.ș.t. Constantin CODREANU**

Universitatea Tehnică a Moldovei

***Abstract:** Subiectul acestui articol este prezentarea standardului EN 50160 și o analiză a cerințelor acestuia în concordanță cu funcționarea unui echipament ales.*

***Cuvinte cheie:** parametri de calitate ai tensiunii*

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 neliniare, adică ele conduc la apariția unui curent nesinusoidal atunci când se aplică o tensiune sinusoidală. 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 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. 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.

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.

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 „Armonici” și secțiunea „Perturbații de tensiune”.

## **Principalele recomandări ale EN 50160**

EN 50160 oferă principalii parametri ai tensiunii și banda de abatere admisă în punctul comun de conectare al unui consumator cuplat la o rețea de distribuție publică 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 mai jos.

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.

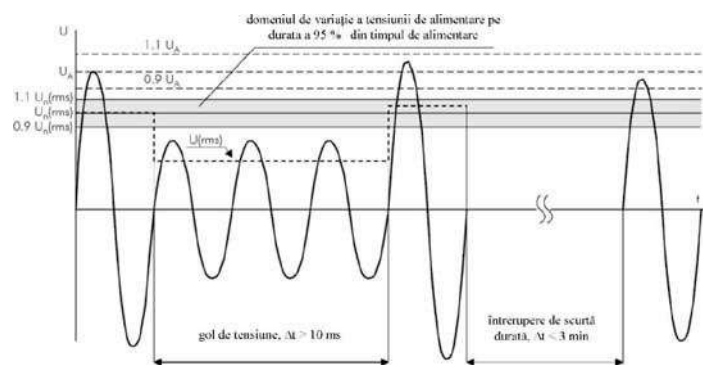
Așa cum arată analiza parametrilor prezentați în tabelul 1, aceste cerințe nu sunt deosebit de riguroase pentru furnizor. Numeroasele situații în care standardul nu se aplică poate scuza majoritatea incidentelor și a evenimentelor cu perturbații ale tensiunii care pot apare în practică. De aceea mulți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

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

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 ± 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: ±10 % pentru 95% din săptămână, media pe 10 minute a valorilor efective (figura 1)		±10 % aplicată pentru 15 minute
3.	Variații rapide ale tensiunii	JT: 5 % normal 10 % nefrecvent $P_{It} < 1$ pentru 95 % din săptămână MT: 4 % normal 6 % nefrecvent $P_{It} < 1$ pentru 95 % din săptămână	3 % normal 8 % nefrecvent $P_{st} < 1,0$ $P_{It} < 0,8$	3% normal 4% maxim $P_{st} < 1$ $P_{It} < 0,65$ (EN 61000-3-3) 3 % (CEI 61000-2-12)

4.	Goluri ale tensiunii de alimentare	În majoritate: durată < 1 s, adâncimea < 60%. Goluri limitate local datorate cuplării unei sarcini: JT: 10-50 %, MT: 10-15 % (figura 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 < 1 s		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 Uc (în rețele cu neutru legat direct la pământ sau printr-o impedanță) 2 Uc (în rețele cu neutru izolat sau legat printr-o bobină de rezonanță)		
8.	Supratensiuni tranzitorii	JT: în general < 6 kV ocazional mai mari; durata ms- $\mu$ s MT: nedefinite		$\pm 2$ kV, fază - pământ $\pm 1$ kV, între faze $\mu$ s 1,2/50 (8/20) $T_r/T_h$ (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 %	

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.



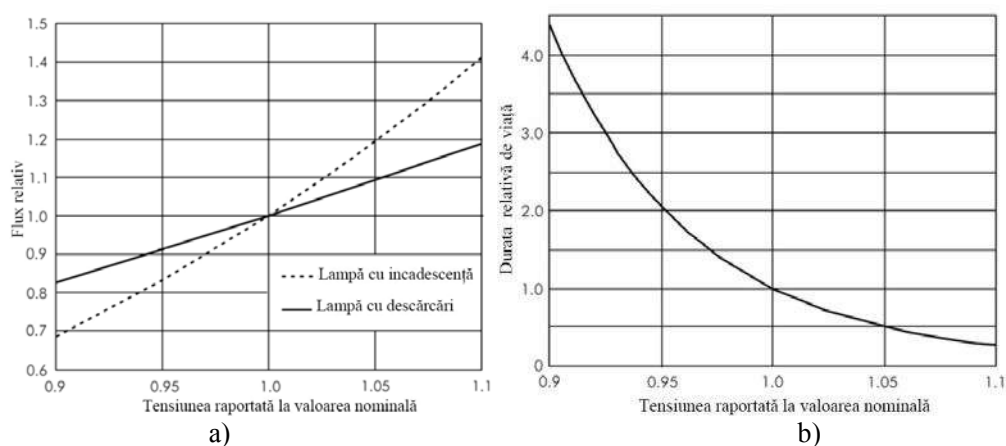
**Figura 1 - Ilustrarea unui gol de tensiune și a unei întreruperi scurte a alimentării, clasificate în conformitate cu EN 50160;  $U_n$  - tensiunea nominală a rețelei de alimentare (valoare efectivă);  $U_A$  - amplitudinea tensiunii de alimentare;  $U$  - valoarea efectivă curentă a tensiunii de alimentare**

### 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 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 figura 2 și formula (3).



**Figura 2 - Valoarea relativă a fluxului luminos  $\Phi$  (a) și a duratei de viață  $T$  (b) la o lampă cu incandescență și la o lampă cu descărcări în funcție de tensiunea de alimentare**

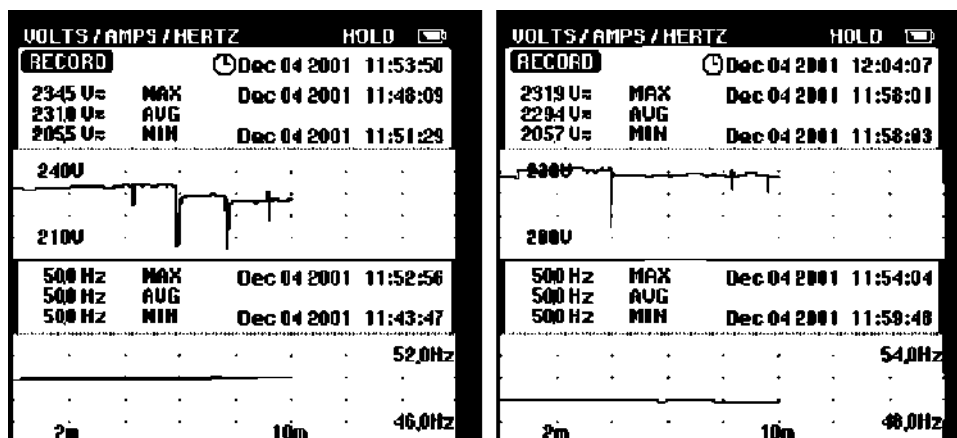
Variațiile tensiunii de alimentare în conformitate cu EN 50160 pot cauza variații semnificative de flux. EN 50160 permite, de exemplu, ca tensiunea de alimentare să poată fi egală cu  $U_n - 10\%$  sau  $U_n + 10\%$  pentru o lungă perioadă, astfel o lampă cu incandescență poate livra respectiv un flux 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 (figura 2, b), 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 figurile 2 a și b 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 figura 3. Descrierea matematică a caracteristicilor prezentate în figurile 2 a și b este:

$$\frac{F}{F_n} = \left(\frac{U}{U_n}\right)^b \quad (3) \qquad \frac{D}{D_n} = \left(\frac{U}{U_n}\right)^{-14} \quad (4)$$

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;  $D$  - durata de viață a lămpii cu incandescență;  $D_n$  - durata de viață la valoarea nominală a tensiunii de alimentare  $U_n$ ;



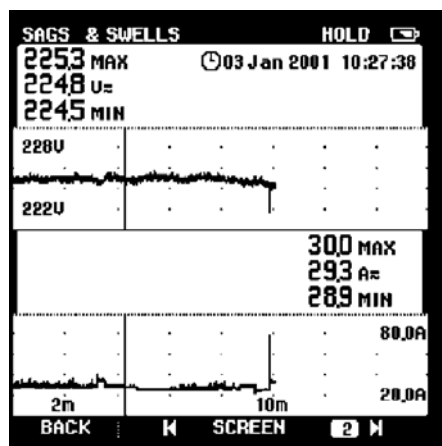
**Figura 3 - Exemple de gol de tensiune (valoarea efectivă a tensiunii fază-pământ); oscilogramele prezintă tensiunea de alimentare (traseul de sus) și frecvența variațiilor (modificărilor) (traseul de jos), în punctul comun de conectare la o fabrică mică**

Se poate observa, 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 figura 3 ilustrează influența tensiunii asupra severității flicker-ului, care poate fi măsurată și calculată conform formulei (1). Măsurarea flickerului este tratată mai jos.

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 (figura 4).

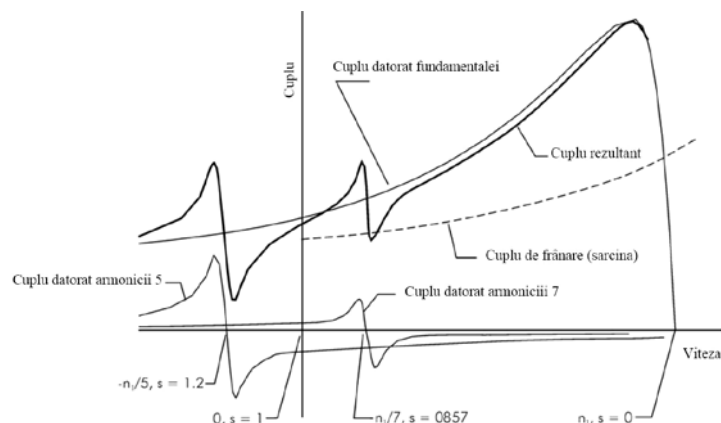
În practică, pentru majoritatea motoarelor electrice trifazate, pornirea se produce normal la aproximativ 85 % din tensiune nominală la sarcini grele (mari) și la aproximativ 70 % pentru sarcini ușoare (mici). Deci, prevederile EN 50160 referitoare la fluctuația tensiunii sunt satisfăcătoare în acest 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.



**Figura 4 - 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**

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 figura 5 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.



**Figura 5 – Influența cuplurilor asincrone produse de armonici asupra caracteristicii cuplului principal al unui motor asincron**

**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.

### 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. 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.

### Bibliografie

1. EN 50160, Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution Systems, 1999
2. IEC 038, IEC standard voltages, 1999