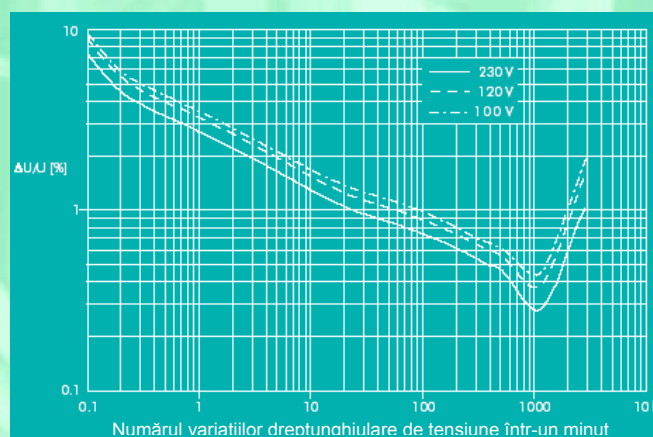
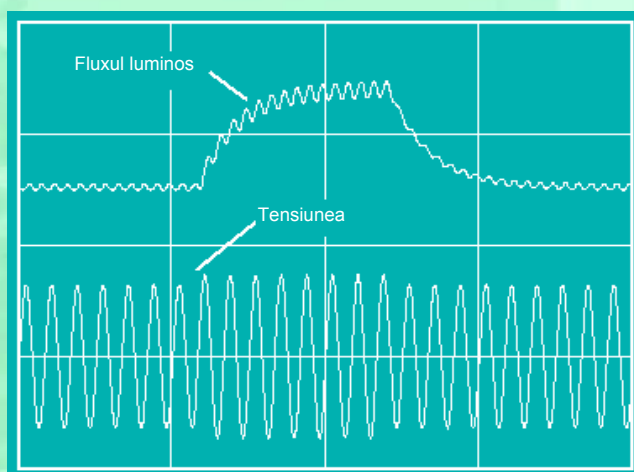


# Ghid de Aplicare - Calitatea Energiei Electrice



## *Perturbații de tensiune* *Măsurarea nivelului de flicker*

5.2.3



*Perturbații de tensiune*

# *Perturbații de tensiune*

## *Măsurarea nivelului de flicker*

Zbigniew Hanzelka & Andrzej Bien  
AGH University of Science and Technology  
Octombrie 2005



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](http://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.

Versiunea în limba română a prezentei broșuri a fost realizată exclusiv de către membrii SIER: traducerea a fost efectuată de **Prof. dr. ing. Nicolae Golovanov** iar verificarea de către **Prof. dr. ing. Petru Postolache**, **Dr. ing. Fănică Vatră** și **Drd. ing. Ana Poida**.

### **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, AGH University of Science and 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, AGH University of Science and Technology și Societatea Inginerilor Energeticieni din România.

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



Membră a  
EUROPEAN

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](mailto:office@sier.ro)  
Websites: [www.sier.ro](http://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](mailto:eci@eurocopper.org)  
Website: [www.eurocopper.org](http://www.eurocopper.org)

## Măsurarea nivelului de flicker

### Introducere

Tensiunea din rețeaua electrică variază în timp datorită perturbațiilor care apar în procesul de generare, transport și distribuție. Interacțiunea dintre sarcinile electrice și rețea determină deteriorarea ulterioară a calității energiei electrice.

Sarcinile mari care absorb un curent electric fluctuant, ca de exemplu motoarele electrice mari și cuptoarele cu arc electric, determină variații ciclice, cu frecvență redusă a tensiunii care conduc la:

- ◆ flicker al surselor de lumină, care poate conduce la un semnificativ disconfort fiziologic, stres fizic și psihologic și chiar efecte patologice asupra oamenilor;
- ◆ probleme privind stabilitatea funcționării echipamentelor electrice și a circuitelor electronice.

În figura 1 este indicat modul în care o modificare redusă a tensiunii determină un efect semnificativ asupra fluxului luminos al unei lămpi cu incandescență.

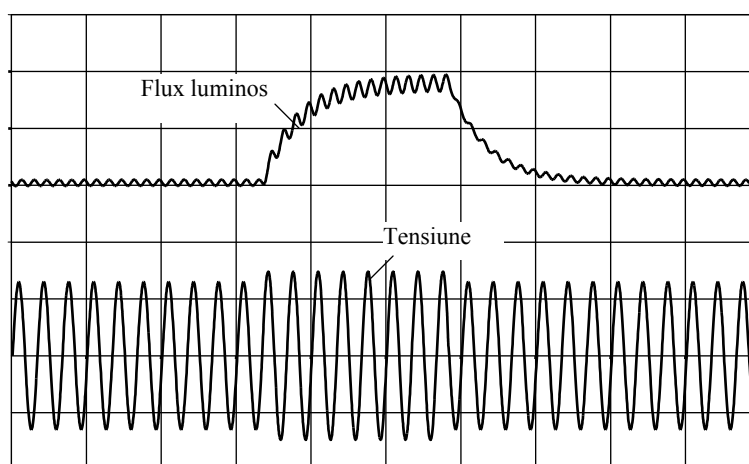


Fig. 1 - Modificarea fluxului luminos ca rezultat al modificării temporare a tensiunii [1].

Modificări periodice reduse ale tensiunii determină fluctuații ale surselor de lumină. Acest efect este numit în mod obișnuit „flicker” și este un indicator semnificativ al calității energiei electrice. Un exemplu în care în spectrul tensiunii de rețea apare flicker este indicat în figura 2. Spectrul indicat este tipic pentru tensiunea din rețelele electrice care alimentează multe sisteme de acționare cu sarcină variabilă. O lampă cu incandescență alimentată din acest nod va prezenta flicker cu o frecvență de circa 1 Hz.

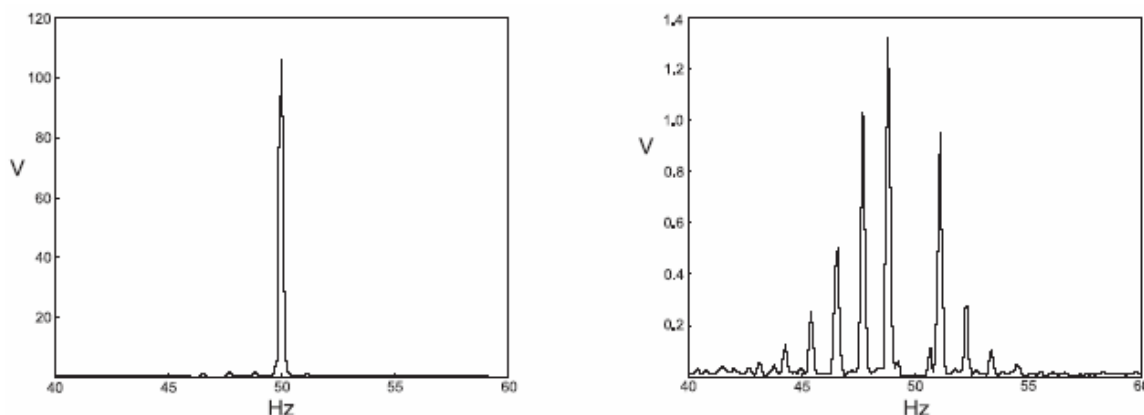


Fig. 2 - Spectrul tensiunii de rețea; în diagrama din dreapta componenta de 50 Hz a fost înălțată.

Flickerul este caracterizat de doi parametri: indicatorul pe timp scurt  $P_{st}$  și indicatorul pe termen lung  $P_{lt}$ . Măsurarea acestor parametri este analizată în continuare în acest document.

# Măsurarea nivelului de flicker

## Estimarea fluctuațiilor de tensiune

Fenomenul de flicker al surselor de lumină a fost cunoscut odată cu apariția rețelelor electrice de alimentare și s-a intensificat rapid odată cu creșterea numărului de sarcini și a puterii consumate. Studii ample au fost efectuate pentru măsurarea și limitarea efectului de flicker. Pentru a cuantifica scala efectului de flicker al surselor de lumină, cercetările efectuate au avut scopul de a conduce la dezvoltarea de echipamente de măsurare, tehnici de control și de limitare a flickerului. Această secțiune prezintă principiile de măsurare și principiile generale de proiectare ale unui echipament de măsurare.

Inițial, proiectanții de echipamente de măsurare s-au bazat pe simpla observare a fluxului luminos. Următorul pas fost dezvoltarea unui model al reacției omului – sub formă de disconfort sau iritare – la variația fluxului luminos. Modelul a fost bazat pe o lampă cu incandescență de 60 W, 230 V cu filament din wolfram, deoarece era cea mai utilizată sursă de lumină din Europa la acel moment.

În figura 3 sunt indicate pragurile de percepție a flickerului ca funcție de nivelul variației de tensiune în procente (axa  $y$ ) și de frecvența de variație (axa  $x$ ). Atunci când amplitudinea și frecvența variațiilor sunt deasupra curbei, probabil că rezultă un efect de perturbare a observatorului uman, pe când sub curbă acest efect este probabil imperceptibil. Liniile punctate corespund lămpilor cu incandescență cu filament din wolfram cu alte tensiuni nominale.

Primele instrumente de măsurare a flickerului includeau o lampă cu incandescență tipică de 60 W, 230 V, un senzor de flux luminos și un model analogic pentru simularea reacției umane. Ulterior în cadrul studiilor din anii '80, activitatea în domeniul evaluării flickerului s-a concentrat, fiind bazată pe activitatea UIE. A rezultat un modelul normalizat de instrument complet electronic; acesta măsoară nivelul fluctuațiilor de tensiune și simulează atât răspunsul sursei de lumină cât și reacția umană. Au derivat două tipuri de măsurători: una pentru efectul de flicker pe termen scurt, pe baza măsurărilor pe un interval de timp de 10 minute  $P_{st}$  și una pentru efectul pe termen lung  $P_{lt}$  care are rolul de a media valorile  $P_{st}$  pe un interval de timp de două ore.

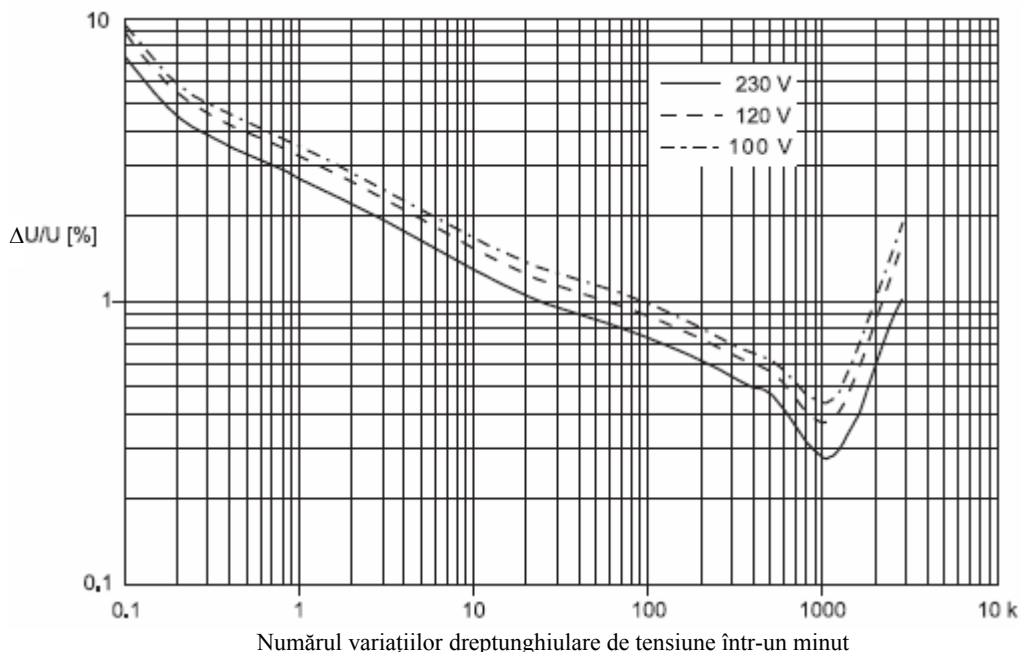


Fig. 3 - Caracteristica de percepție a flickerului pentru variații dreptunghiulare ale curbei de tensiune, aplicate unei lămpi de 60 W.

## Măsurarea nivelului de flicker pe termen scurt

Schema bloc a instrumentului propus de lucrarea UIE este indicată în figura 4. Măsurarea fluctuațiilor de tensiune este realizată pe baza unui model al fluxului luminos în funcție de caracteristicile de tensiune ale unei lămpi cu incandescență cu filament din wolfram și a unui model al reacției umane la fluctuațiile fluxului luminos. Astfel se obțin valori instantanee ale nivelului de flicker. Totuși, având în vedere faptul că persoane diferite reacționează diferit la variația fluxului luminos, valorile  $P_{st}$  sunt obținute pe baza unui model statistic, stabilit experimental pentru un grup mare de indivizi.

## Măsurarea nivelului de flicker

Schema bloc de detaliu a instrumentului este indicată în figura 5. Modul de procesare a semnalului de tensiune în schema propusă de UIE este definit într-un standard [2]. Realizarea instrumentului conform acestui document trebuie să redea caracteristicile indicate în figura 3 cu o incertitudine mai mică de 5%.

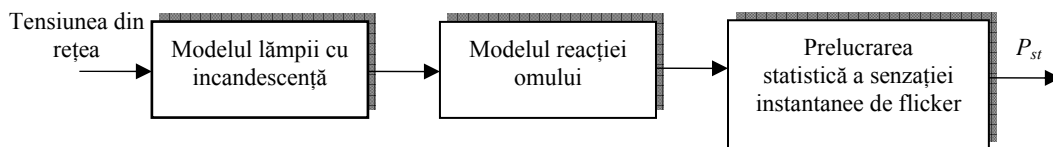


Fig. 4 – Operații pentru determinarea nivelului de flicker  $P_{st}$ .

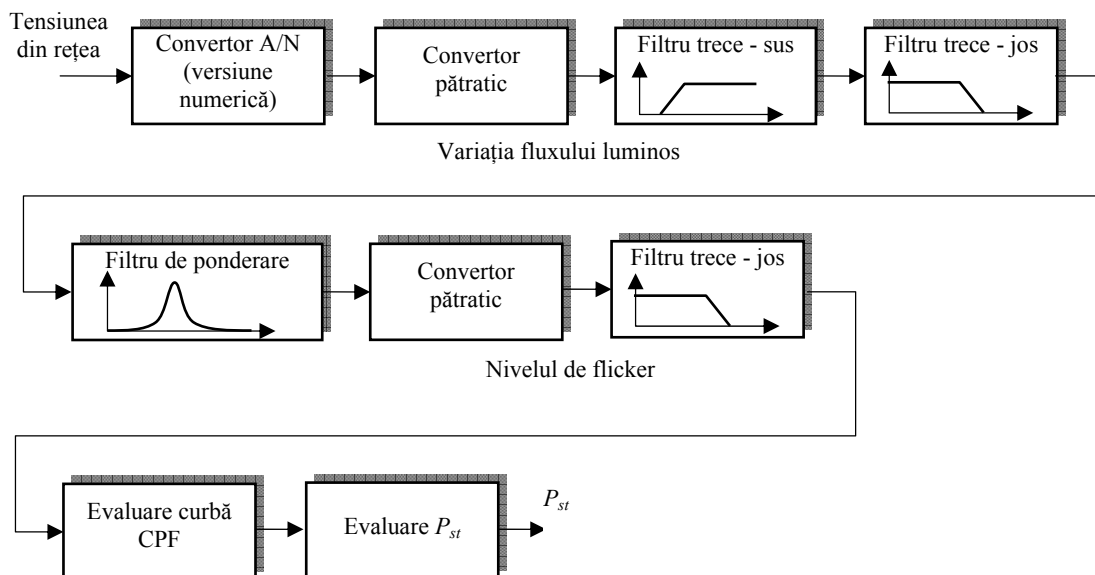


Fig. 5 – Structura instrumentului UIE pentru măsurarea nivelului de flicker.

Convertorul analog-numeric este utilizat numai în varianta numerică a instrumentului. Convertorul pătratic și următoarele filtre redau modelul lămpii cu incandescență de 60 W, 230 V cu filament din wolfram. Filtrul trece sus de 0,05 Hz servește doar la eliminarea componentei continue deoarece sunt măsurate numai variațiile fluxului luminos, iar filtrul trece jos de 35 Hz reprezintă caracteristicile dinamice ale lămpii cu incandescență.

Al doilea rând din figura 5 modelează răspunsul uman la variațiile de flux luminos. Reacția ochiului și cea a creierului este modelată utilizând un filtru trece bandă având următoarea formă:

$$K(s) = \frac{k \cdot \omega_1 \cdot s}{s^2 + 2 \cdot \lambda \cdot s + \omega_1^2} \cdot \frac{1 + s / \omega_2}{(1 + s / \omega_3) \cdot (1 + s / \omega_4)},$$

# Măsurarea nivelului de flicker

în care, pentru o lampă incandescentă de 60 W, 230 V:

$$k = 1,74802$$

$$\lambda = 2 \cdot \pi \cdot 4,05981$$

$$\omega_1 = 2 \cdot \pi \cdot 9,15494$$

$$\omega_2 = 2 \cdot \pi \cdot 2,27979$$

$$\omega_3 = 2 \cdot \pi \cdot 1,22535$$

$$\omega_4 = 2 \cdot \pi \cdot 21,9$$

Acest filtru a fost proiectat pe baza studiilor psiho-fiziologice privind influența variațiilor fluxului luminos asupra omului. Studiile au inclus analiza efectelor frecvenței și amplitudinii variațiilor fluxului luminos asupra omului. Convertorul pătratic și filtrul trece jos de 0,53 Hz modelează efectul de iritare determinat de variațiile de flux luminos.

În figura 6 este redat răspunsul, ca amplitudine, al tuturor filtrelor utilizate în acest instrument.

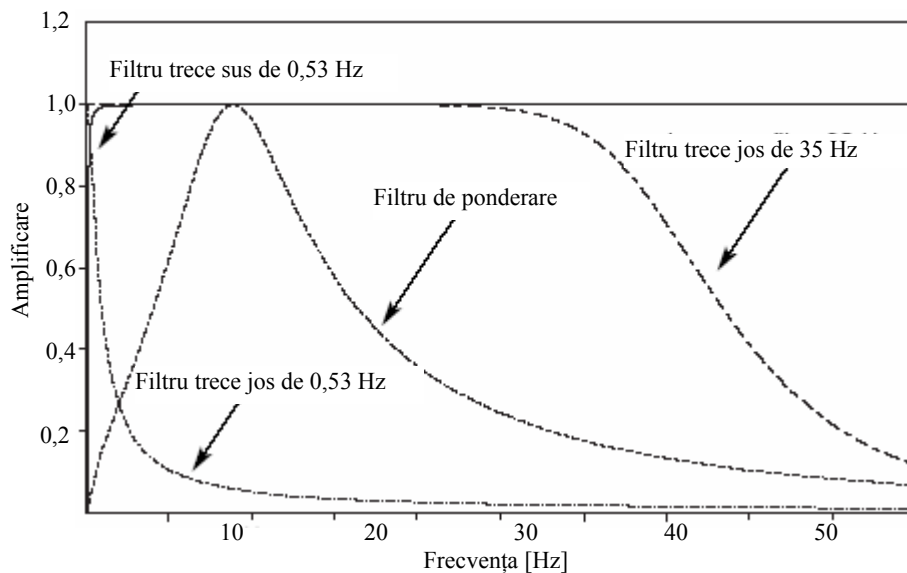


Fig. 6 –Răspunsul în amplitudine al filtrelor unui flickermetru.

Cel de al treilea rând din figura 5 indică zona de procesare statistică numerică. Evaluarea valorii  $P_{st}$  se bazează pe determinarea curbei de probabilitate cumulată (CPF - Cumulative Probability Function) pe durata de observație. Metoda de evaluare a curbei CPF este indicată în figura 7.

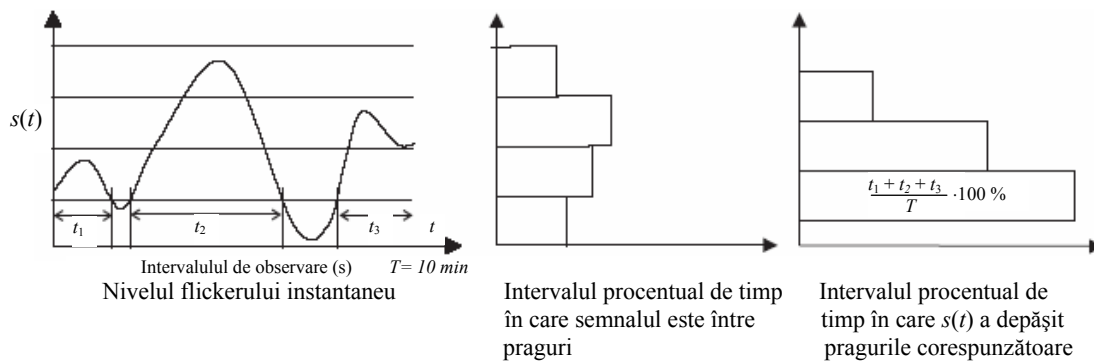


Fig. 7 – Procesul de evaluare a curbei CPF

## Măsurarea nivelului de flicker

Curba din partea stângă indică nivelul de flicker instantaneu (axa  $y$ ) în funcție de timp (axa  $x$ ), pentru o durată de observare de 10 minute. Linile orizontale reprezintă pragurile care sunt utilizate pentru a grupa datele măsurate, care sunt indicate în partea dreaptă a figurii. Aici axa  $x$  reprezintă valori procentuale din intervalul de observare în care valorile discrete instantanee depășesc pragurile corespunzătoare (a se vedea grupul cel mai de jos).

În practică, după ce au fost colectate eșantioanele pentru intervalul de observare de 10 minute, pragurile sunt setate pentru valorile procentuale, care sunt depășite cu o probabilitate de 0,1% ; 1% ; 3% ; 10% și 50% din durata intervalului de observare de 10 minute. În continuare în text, aceste valori procentuale sunt notate  $P_{0,1}$  ;  $P_1$  ;  $P_3$  etc. iar indicele „s” (de exemplu  $P_{1s}$  ,  $P_{3s}$ ) indică faptul că a fost făcută medierea pe baza următoarelor relații

$$P_{1s} = (P_{0,7} + P_1 + P_{1,3}) / 3$$

$$P_{3s} = (P_{2,2} + P_3 + P_4) / 3$$

$$P_{10s} = (P_6 + P_8 + P_{10} + P_{13} + P_{17}) / 5$$

$$P_{50s} = (P_{30} + P_{50} + P_{80}) / 3$$

$P_{st}$  se calculează din relația

$$P_{st} = \sqrt{0,0134 \cdot P_{0,1} + 0,0525 \cdot P_{1s} + 0,0657 \cdot P_{3s} + 0,08 \cdot P_{50s}}$$

Valorile  $P_{st}$  sunt utilizate pentru evaluarea valorii  $P_{lt}$  pe un interval lung de observare, pe baza relației

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

în care  $N$  este numărul de intervale  $P_{st}$  pe durata de timp a intervalului de observare a valorii  $P_{lt}$ , adică 12 valori  $P_{st}$  (10 minute) care sunt necesare pentru calculul mărimii  $P_{lt}$  (2 ore).

În figura 8 sunt indicate valori măsurate ale mărimii  $P_{st}$  într-un nod al rețelei electrice în care a fost conectat un cuptor cu arc electric. Se poate observa faptul că condițiile de funcționare ale cuptorului influențează valorile mărimii  $P_{st}$ . În acest caz, valorile  $P_{st}$  variază în raport de 15:1.

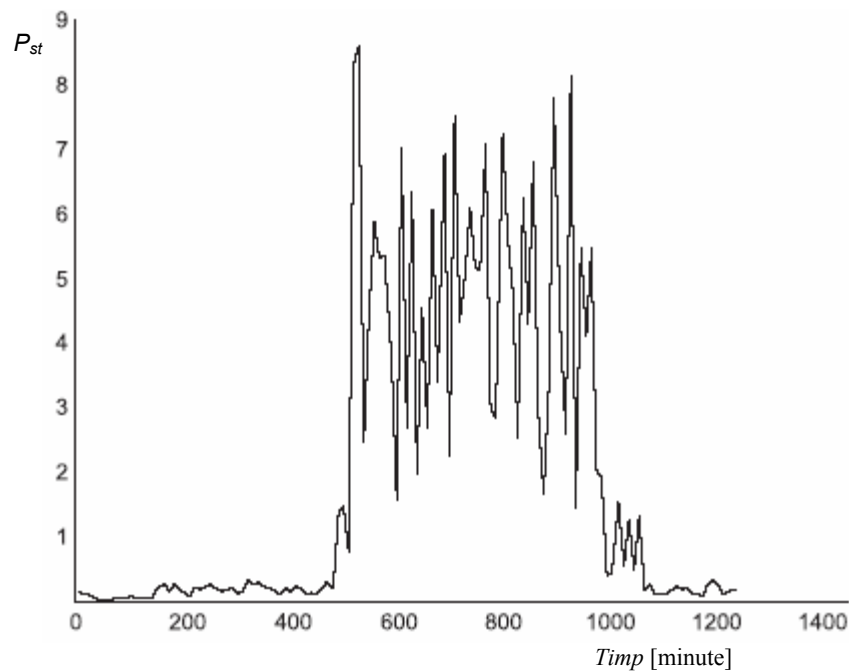


Fig. 8 – Valorile  $P_{st}$  determinate pe durata funcționării unui cuptor cu arc electric.

# Măsurarea nivelului de flicker

## Calibrarea și verificarea instrumentului pentru măsurarea nivelului de flicker

Măsurarea nivelului de flicker este, așa cum s-a arătat anterior, un proces complex. Dacă se cere ca instrumente realizate și proiectate de diferiți producători să determine rezultate coerente la măsurători în teren, atunci este necesar să fie realizate corect testul de conformitate și procedura de calibrare.

Testul de conformitate necesită validarea proiectului, adică verificarea corectitudinii modelării și acuratețea calculului statistic, la aplicarea unui semnal test predeterminat și monitorizarea semnalului de ieșire corespunzător. Semnalul de testare trebuie definit ca o curbă modulată (sinusoidal sau dreptunghiular) ca amplitudine și frecvență, astfel ca aceasta să fie bine reproductibilă și predictibilă.

Calibrarea necesită reverificarea fiecărui echipament cu semnale de intrare predeterminate, pentru a se asigura că rezultatul indicat este suficient de precis. Producătorii trebuie să indice cât de frecvent trebuie repetată calibrarea și să ofere elementele necesare pentru aceasta.

## Măsurarea și evaluarea nivelului de flicker în rețeaua electrică de alimentare

Așa cum s-a menționat în introducere, principala sursă de fluctuații ale tensiunii (și în consecință flickerul surselor de lumină) sunt sarcinile electrice mari.

Mecanismul este prezentat în figura 9.

Tensiunea în punctul de conectare a sarcinii este mai mică decât tensiunea sursei de alimentare datorită căderii de tensiune.

$$U_{Z_n} = I_{sarcina} \cdot Z_{Z_n}$$

în care

$I_{sarcina}$  – curentul de sarcină și

$Z_{Z_n}$  – impedanța rețelei, văzută din punctul de conectare a sarcinii (a,b).

Deoarece tensiunea între punctele (a, b) este

$$U_{ab} = U_n - U_{Z_n}$$

trebuie observat faptul că o variație a curentului de sarcină  $I_{sarcina}$ , în special componenta sa reactivă, determină o variație nedorită a tensiunii  $U_{ab}$ .

În rețelele electrice reale acest fenomen este mult mai complex, însă acest principiu este corect.

De multe ori problema apare fie atunci când este planificată conectarea la rețeaua electrică a unei sarcini care determină flicker, fie atunci când nivelul de flicker depășește limitele prescrise. Soluția la această problemă depinde de parametrii rețelei electrice și de sarcinile conectate, care pot determina efecte negative.

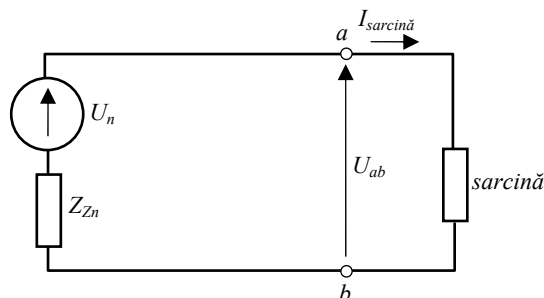


Fig. 9 – Influența sarcinii asupra rețelei electrice.

# Măsurarea nivelului de flicker

Deoarece efectul nu poate fi măsurat înainte de conectare, acesta trebuie să fie estimat. Problemele de compatibilitate se rezolvă conform documentului de standardizare CEI 61000-3-3 [5], în care se consideră ca impedență de referință a sursei  $Z_{Zn}$  cu  $\text{Re}(Z_{Zn}) = 0,4 \Omega$  și  $\text{Im}(Z_{Zn}) = 0,25 \Omega$ .

În plus, standardul indică o metodă pentru îmbunătățirea evaluării luând în considerare profilul de modulare a tensiunii de alimentare, adică se calculează cazul cel mai defavorabil al modurii pătratice și se impun modificări pentru alte forme ale curbei de modulare.

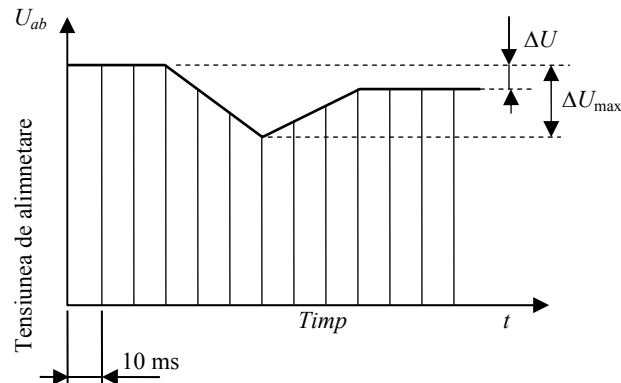


Fig. 10 – Exemplu de profil de sarcină [5].

În figura 10 este prezentat un profil, tipic pentru un motor de acționare [5], indicându-se modul în care sunt determinate variațiile mari de tensiune  $\Delta U$  pentru calculul valorii  $d = \Delta U/U_{ab}$ . Valorile parametrilor echivalenți depind de mărimile  $t_1$ ;  $t_2$ ,  $t_3$  etc., așa cum este indicat în standard. Calculul valorii efective a tensiunii este efectuat pe fiecare semiperioadă.

Standardul [5] impune :

- ◆ valoarea indicatorului de flicker de scurtă durată  $P_{st} \leq 1$  ;
- ◆ valoarea indicatorului de flicker de lungă durată  $P_{lt} \leq 0,65$  ;
- ◆ valoarea staționară a variației relative a tensiunii  $d \leq 3\%$  ;
- ◆ valoarea maximă a variației relative a tensiunii  $d_{max} \leq 4\%$ .
- ◆ valoarea mărimii  $d$  pe durata variației de tensiune nu trebuie să depășească 3% pentru o durată mai mare de 200 ms.

În cazul în care sarcina determină variații ale tensiunii  $U_{ab}$  cu o frecvență mai mică de o dată pe oră sau dacă variațiile au loc datorită unor comutații manuale, atunci valoarea admisă crește până la 33%. Este important de reținut faptul că este considerată o tensiune constantă a rețelei, adică în absența sarcinii de verificat, nu apar fluctuații ale tensiunii rețelei electrice.

Fenomenul de flicker nu este aditiv – nu pot fi realizate operații matematice asupra rezultatelor măsurătorii mărimilor  $P_{st}$  sau  $P_{lt}$ .

## Concluzii

Flickerul a fost o problemă în rețelele electrice de la apariția lor. Din anii 1980, progresele în înțelegerea fenomenului și a procesului de percepție au condus la standardizarea metodelor de măsurare și a instrumentelor, ceea ce a permis măsurarea veridică a flickerului. Instrumentele moderne, folosind tehnici de procesare numerică rapidă a semnalelor permit în prezent evaluarea și rezolvarea rapidă a problemelor de flicker.

# Măsurarea nivelului de flicker

---

## Bibliografie

- [1] \*\*\* *Guide to Quality of Electrical Supply for Industrial Installations, Part 5, Flicker and Voltage Fluctuations, Power Quality Working Group WG2, 2000.*
- [2] \*\*\* *IEC 60868, Flickermeter, Functional and Design Specifications, 1986.*
- [3] \*\*\* *IEC 60868-0, Amendment 1, Flickermeter, Functional and Design Specifications, 1990.*
- [4] \*\*\* *IEC 61000-4-15:1997, Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 4: Testing and Measurement Techniques – Section 15: Flickermeter – Functional and Design Specifications.*
- [5] \*\*\* *IEC 61000-3-3:1995, Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3: Limits – Section 3: Limitation of Voltage Fluctuations and Flicker in Low-voltage Supply Systems for Equipment with Rated Current  $\leq 16A$ .*
- [6] Mombauer W: *EMV Messung von Spannungs-schwankungen und Flickern mit dem IEC-Flickermeter, VDE VERLAG, Berlin und Offenbach 2000.*

## Parteneri de Referință & Fondatori\*

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

## 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	MGE UPS Systems	jean-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



*Prof Zbigniew Hanzelka*



AGH-UST  
Al. Mickiewicza 30  
30-059 Kraków  
Poland

Tel: (012) 617 28 78  
Fax: (012) 633 22 84  
Email: [hanzel@uci.agh.edu.pl](mailto:hanzel@uci.agh.edu.pl)  
Web: [www.agh.edu.pl](http://www.agh.edu.pl)



*Dr eng Andrzej Bien*



AGH-UST  
Al. Mickiewicza 30  
30-059 Kraków  
Poland

Tel: (012) 617 28 73  
Fax: (012) 633 22 84  
Email: [abien@uci.agh.edu.pl](mailto:abien@uci.agh.edu.pl)  
Web: [www.agh.edu.pl](http://www.agh.edu.pl)



Membră a  
EUROEL

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](mailto:office@sier.ro)  
Websites: [www.sier.ro](http://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](mailto:eci@eurocopper.org)  
Website: [www.eurocopper.org](http://www.eurocopper.org)