

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.

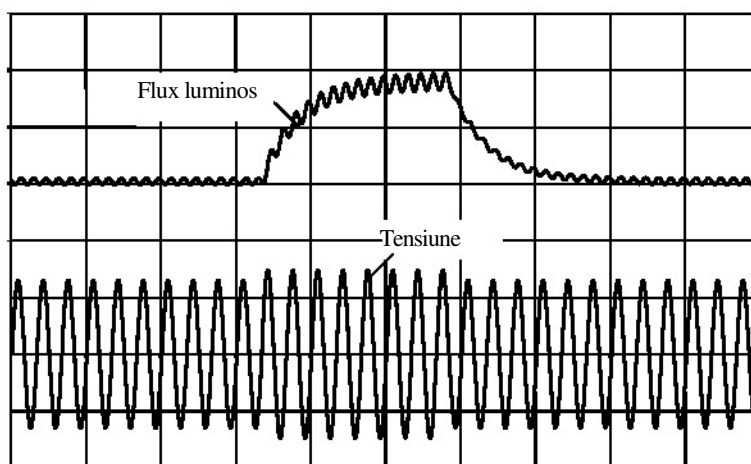


Fig. 1 - Modificarea fluxului luminos ca rezultat al modificării temporare a tensiunii [1].

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.

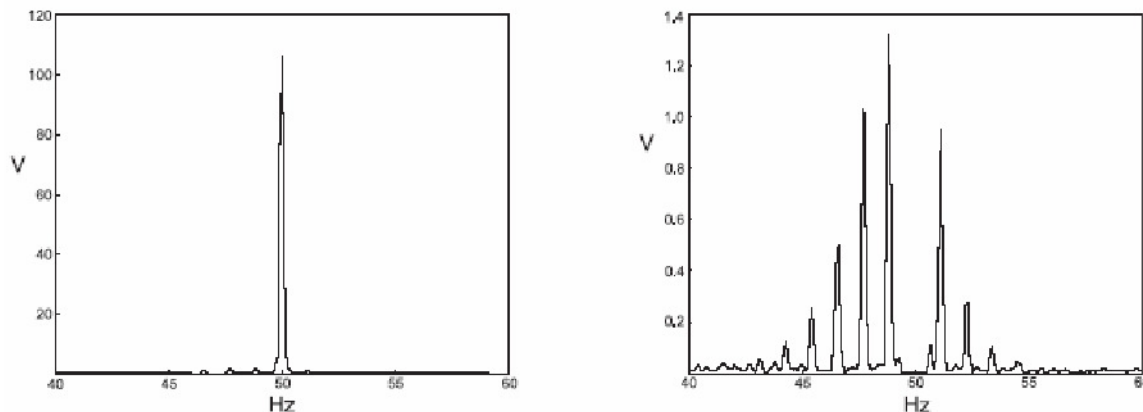


Fig. 2 - Spectrul tensiunii de rețea; în diagrama din dreapta componenta de 50 Hz a fost înlăturată.

Flickerul este caracterizat de doi parametri: indicatorul pe timp scurt P_{st} și indicatorul pe termen lung P_{lf} .

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. 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.

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 a rezultat un model 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 măsurătorilor 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.

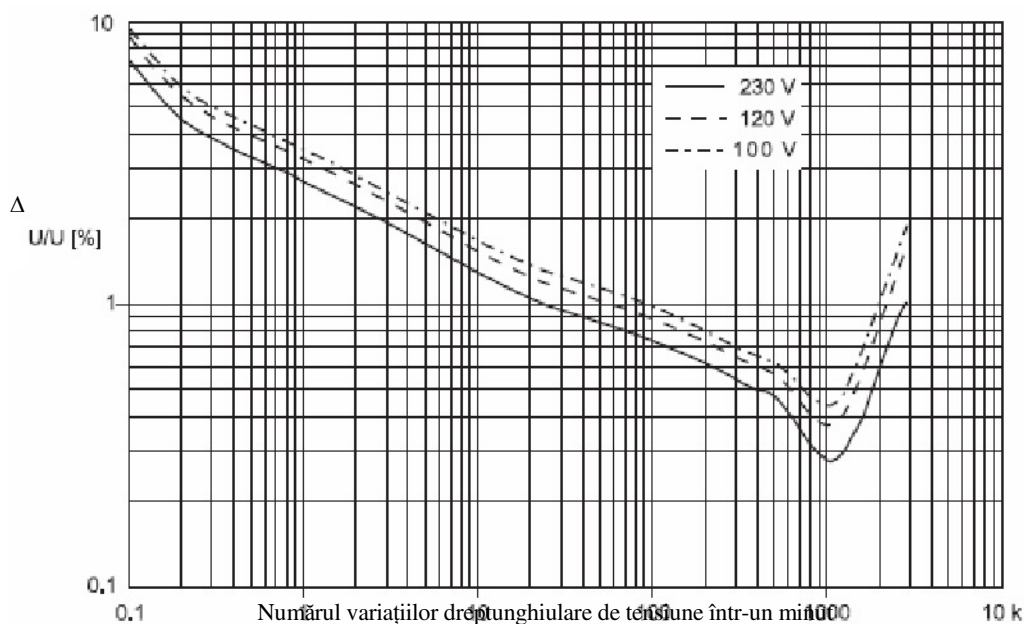


Fig. 3 - Caracteristica de percepție a flickerului pentru variații dreptunghiulare ale curbei de tensiune, aplicate unei lămpi de 60 W.

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%.

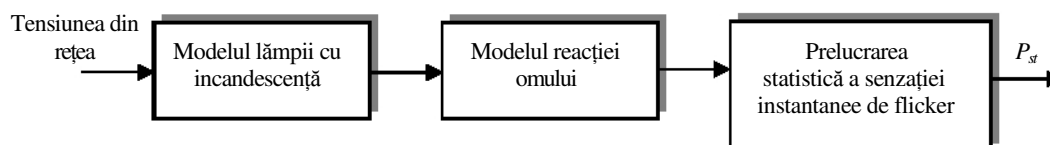


Fig. 4 – Operații pentru determinarea nivelului de flicker P_{st} .

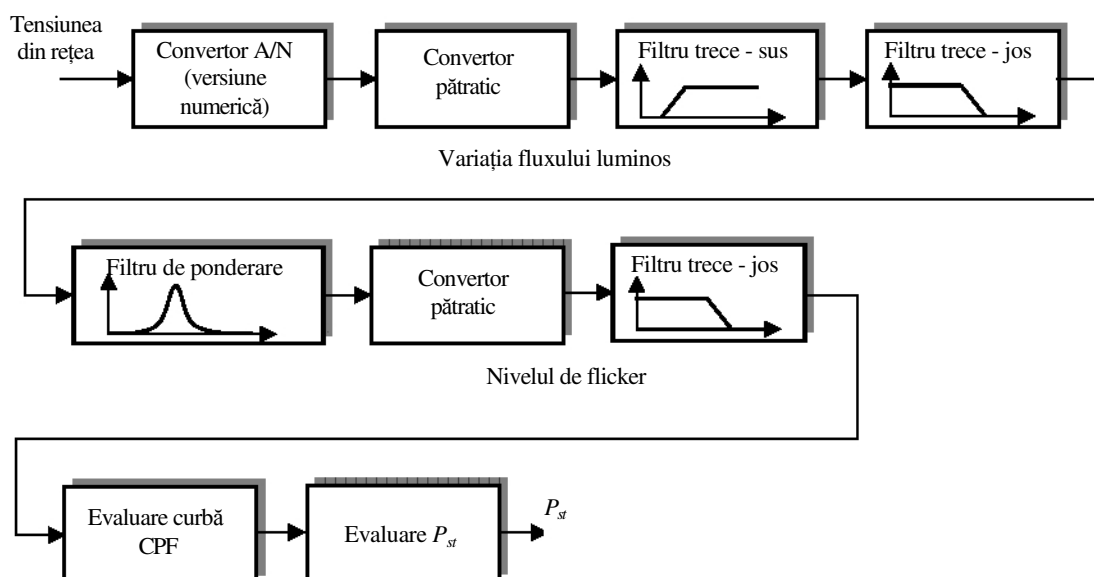


Fig. 5 – Structura instrumentului UIE pentru măsurarea nivelului de flicker.

Convertorul analog-numeric este utilizat numai în varianta numerică a instrumentului. Convertorul pătratic și filtrele 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.

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.

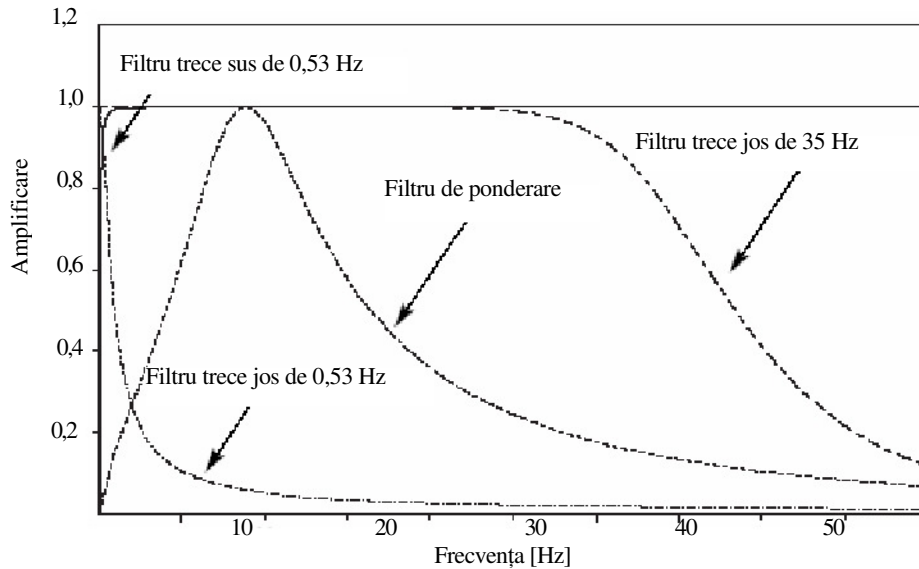


Fig. 6 – Răspunsul în amplitudine al filtrelor unui flickermetru.

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.

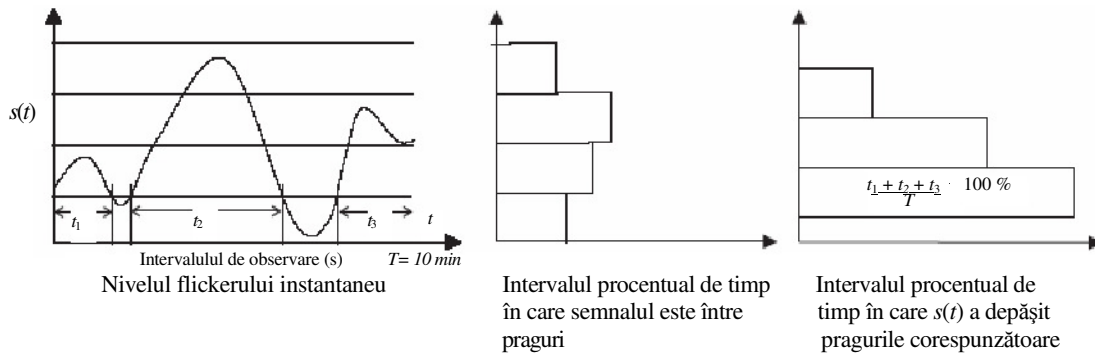


Fig. 7 – Procesul de evaluare a curbei CPF

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_{1_s} , P_{3_s}) indică faptul că a fost făcută medierea pe baza următoarelor relații

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

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

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

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

P_{st} se calculează din relația

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

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

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

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.

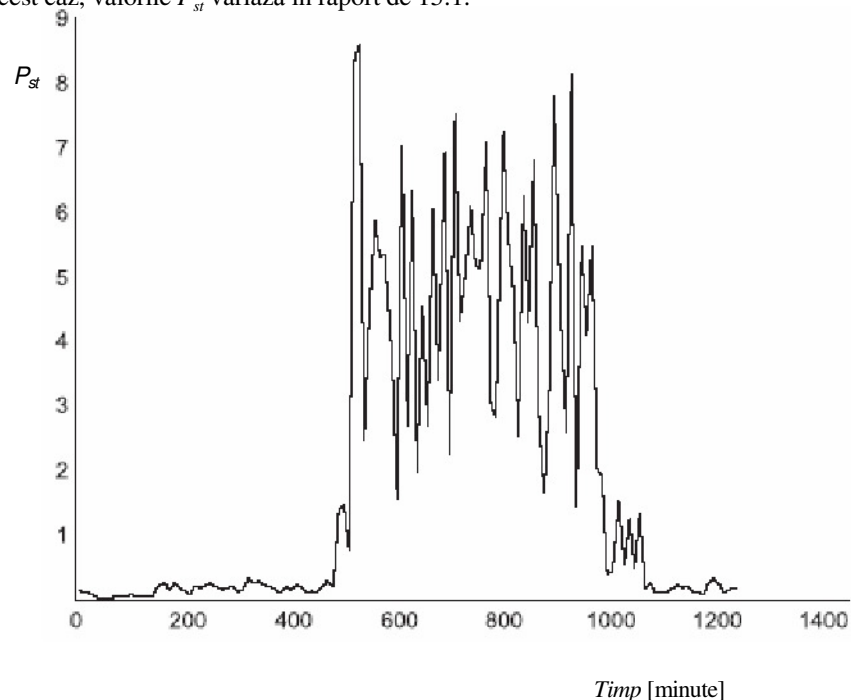


Fig. 8 – Valorile P_{st} determinate pe durata funcționării unui cuptor cu arc electric.

Măsurarea 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 mic decât tensiunea sursei de alimentare datorită căderii de tensiune.

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

în care

$$\begin{aligned} I_{sarcină} & \text{ - curentul de sarcină și} \\ Z_{Z_n} & \text{ - impedanța rețelei, văzută din punctul de conectare a sarcinii (a,b).} \end{aligned}$$

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.

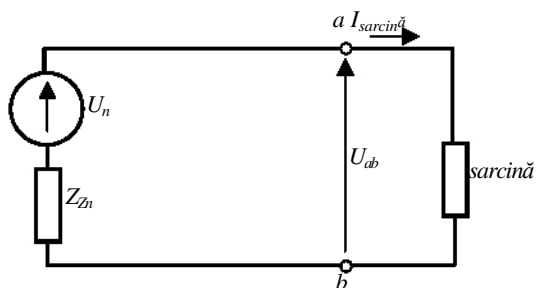


Fig. 9 – Influența sarcinii asupra rețelei electrice.

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, în care se consideră ca impedanță de referință a sursei Z_{Z_1} cu $\text{Re}(Z_{Z_1}) = 0,4 \Omega$ și $\text{Im}(Z_{Z_1}) = 0,25 \Omega$.

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 modulării pătratice și se impun modificări pentru alte forme ale curbei de modulare.

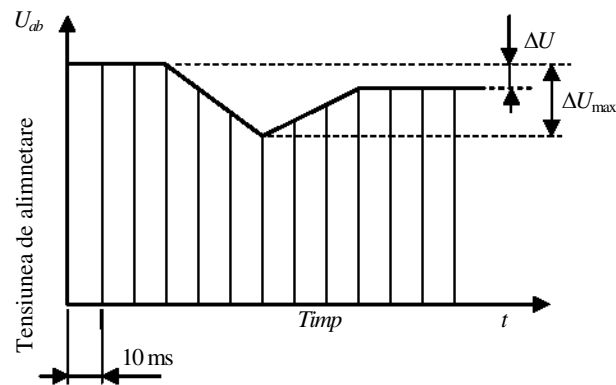


Fig. 10 – Exemplu de profil de sarcină

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 ΔU 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 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.