

# **RAPPORT TECHNIQUE TECHNICAL REPORT**

**CEI  
IEC  
868-0**

Première édition  
First edition  
1991-04

---

---

## **Flickermètre**

### **Partie 0: Evaluation de la sévérité du flicker**

## **Flickermeter**

### **Part 0: Evaluation of flicker severity**



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 868-0: 1991

## Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles auprès du Bureau Central de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**  
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**  
Publié annuellement et mis à jour régulièrement

## Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit tirés du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

## Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la CEI 27: *Symboles littéraux à utiliser en électro-technique;*
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles;*
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas;*

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale.*

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

## Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

## Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available from the IEC Central Office.

Information on the revision work, the issue of revised editions and amendments may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**  
Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**  
Published yearly with regular updates

## Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

## Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications:

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology;*
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets;*
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams;*

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice.*

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

## IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

# RAPPORT TECHNIQUE TECHNICAL REPORT

**CEI  
IEC**

**868-0**

Première édition  
First edition  
1991-04

---

---

## Flickermètre

### Partie 0: Evaluation de la sévérité du flicker

## Flickermeter

### Part 0: Evaluation of flicker severity

© CEI 1991 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher

Bureau central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembé Genève Suisse



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE

**S**

Pour prix, voir catalogue en vigueur  
For price, see current catalogue

## SOMMAIRE

|                                                                         | Pages |
|-------------------------------------------------------------------------|-------|
| AVANT-PROPOS .....                                                      | 4     |
| Articles                                                                |       |
| 1 Evaluation statistique .....                                          | 6     |
| 2 Evaluation de la sévérité du flicker de courte durée .....            | 10    |
| 2.1 Choix d'un algorithme multipoint .....                              | 10    |
| 2.2 Vérification pratique de l'évaluation de $P_{st}$ .....             | 12    |
| 2.3 Correspondance entre les méthodes simplifiées et l'évaluation ..... | 16    |
| 3 Précision de l'évaluation de $P_{st}$ .....                           | 16    |
| 4 Interpolation .....                                                   | 20    |
| 4.1 Interpolation linéaire .....                                        | 20    |
| 4.2 Interpolation non linéaire .....                                    | 20    |
| 4.3 Extrapolation de l'ordonnée à l'origine .....                       | 20    |
| 5 Lissage des quantiles .....                                           | 22    |
| 6 Classification non linéaire .....                                     | 24    |
| 7 Essais de performance, classificateur compris .....                   | 26    |
| 8 Evaluation de la sévérité du flicker de longue durée .....            | 28    |
| 9 Référence .....                                                       | 30    |
| FIGURES .....                                                           | 34    |

## CONTENTS

|                                                                          | Page |
|--------------------------------------------------------------------------|------|
| FOREWORD .....                                                           | 5    |
| Clause                                                                   |      |
| 1 Statistical evaluation .....                                           | 7    |
| 2 Short-term flicker severity assessment .....                           | 11   |
| 2.1 Choosing the multipoint algorithm .....                              | 11   |
| 2.2 Practical checking of the $P_{st}$ evaluation .....                  | 13   |
| 2.3 Agreement between simplified assessment methods and evaluation ..... | 17   |
| 3 Accuracy of the $P_{st}$ evaluation .....                              | 17   |
| 4 Interpolation .....                                                    | 21   |
| 4.1 Linear interpolation .....                                           | 21   |
| 4.2 Non-linear interpolation .....                                       | 21   |
| 4.3 Pseudo zero interpolation .....                                      | 21   |
| 5 Smoothing percentile points .....                                      | 23   |
| 6 Non-linear classification .....                                        | 25   |
| 7 Performance tests including the classifier .....                       | 27   |
| 8 Evaluation of long-term flicker severity .....                         | 29   |
| 9 Reference .....                                                        | 31   |
| FIGURES .....                                                            | 34   |

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

## FLICKERMÈTRE

## Partie 0: Evaluation de la sévérité du flicker

## AVANT-PROPOS

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

Le présent rapport a été établi par le Sous-Comité 77A: Equipements pour raccordement aux réseaux publics de distribution basse tension, du Comité d'Etudes n° 77 de la CEI: Compatibilité électromagnétique entre les matériels électriques y compris les réseaux, sur la base des travaux de l'Union Internationale d'Electrothermie (UIE). Il vient en complément à la CEI 868 (1986) et à sa modification n° 1 (1990).

L'appareil décrit est l'aboutissement des recherches d'un Comité d'Etude de l'UIE, prenant en compte l'expérience acquise sur différents flickermètres préalablement étudiés et expérimentés dans un certain nombre de pays industriels.

Le texte de ce rapport est issu des documents suivants:

| Règle des Six Mois | Rapport de vote |
|--------------------|-----------------|
| 77A(BC)28          | 77A(BC)34       |

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de ce rapport.

*La publication suivante de la CEI est citée dans le présent rapport:*

Publication n° 555-3 (1982): Perturbations produites dans les réseaux d'alimentation par les appareils électrodomestiques et les équipements analogues - Troisième partie: Fluctuations de tension.

*Autre publication citée:*

UIE, juillet 1988:

Raccordement de charges fluctuantes.

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

## FLICKERMETER

## Part 0: Evaluation of flicker severity

## FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

This report has been prepared by Sub-Committee 77A: Equipment for connection to the public low-voltage supply system, of IEC Technical Committee No. 77: Electromagnetic compatibility between electrical equipment including networks, on the basis of work undertaken by the International Union for Electroheat (UIE). It is complementary to IEC 868 (1986) and its Amendment No. 1 (1990).

The apparatus described is the outcome of research by a Study Committee of the UIE, taking into account the experience acquired with various flickermeters previously studied and tested in a number of industrial countries.

The text of this report is based upon the following documents:

| Six Months' Rule | Report on Voting |
|------------------|------------------|
| 77A(CO)28        | 77A(CO)34        |

Full information on the voting for the approval of this report can be found in the Voting Report indicated in the above table.

*The following IEC Publication is quoted in this report.*

Publication No. 555-3 (1982): Disturbances in supply systems caused by household appliances and similar electrical equipment, Part 3: Voltage fluctuations.

*Other publication quoted:*

UIE, July 1988: Connection of fluctuating loads.

## FLICKERMÈTRE

### Partie 0: Evaluation de la sévérité du flicker

#### 1 Evaluation statistique

Le flickermètre UIE/CEI simule le processus de la perception visuelle physiologique et donne une indication fiable de la réaction d'un observateur à n'importe quel type de flicker, indépendamment de la source de perturbation.

Le flickermètre traite les apparitions de flickers isolés et successifs en unités de perceptibilité; il est nécessaire d'évaluer le signal de sortie de l'appareil à l'aide d'une méthode qui indique le niveau de sévérité pour des types réguliers et irréguliers de flicker. Le niveau sortie de l'instrument est d'une unité au seuil de perceptibilité.

L'objectif de l'UIE est d'élaborer une méthode unique d'évaluation du flicker en utilisant une procédure applicable à n'importe quel type de charge fluctuante. La spécification des limites des perturbations provoquées par les différentes catégories d'équipements incombe aux organismes de normalisation compétents.

Pour prendre en considération les mécanismes de la vision et établir une méthode représentative de la gêne, le flicker doit être évalué sur une période de temps suffisamment représentative. De plus, en raison de la nature aléatoire du flicker provoqué par certaines charges, il faut admettre que pendant cette période le niveau instantané de flicker peut varier considérablement et de façon imprévisible. Il est important de vérifier, non seulement les niveaux maximaux atteints, mais aussi pour quel pourcentage d'une période d'observation significative un niveau de flicker donné a été dépassé. Pour englober tous les cas, une approche statistique est essentielle, et nécessite d'établir une fonction corrélatrice (pendant la période d'observation) les niveaux de sensation de flicker aux pourcentages correspondants de durée.

Les étapes nécessaires à l'établissement de cette fonction sont les suivantes:

- tout d'abord, les niveaux instantanés représentant la sensation de flicker en sortie du bloc 4 du flickermètre sont classés selon leur valeur, ce qui permet d'obtenir leur loi de distribution par fréquence;
- à la fin de la période d'observation, on établit la fonction de probabilité cumulée (FPC).

Cette méthode a été appelée "classification du niveau en fonction du temps", et est illustrée à la figure 1.

La figure 2 indique la représentation graphique de la courbe de FPC où, dans un souci de clarté, seul un petit nombre de classes a été représenté.

Les figures 3 à 5 donnent des exemples de courbes de FPC obtenues pour différentes charges perturbatrices. On peut noter que les allures de ces courbes ne sont pas semblables, bien qu'un critère commun ait été utilisé pour les élaborer d'une manière concise et significative, pour évaluer de cette façon la sévérité du flicker, quantitativement et objectivement.



## FLICKERMETER

### Part 0: Evaluation of flicker severity

#### 1 Statistical evaluation

The UIE/IEC flickermeter simulates the process of physiological visual perception and gives a reliable indication of the reaction of an observer to any type of flicker, which is independent of the source of the disturbance.

The flickermeter monitors individual and sequential flicker occurrences in units of perceptibility; it is necessary to evaluate its output by a method that indicates severity level for regular and irregular type of flicker. The output of the instrument is one unit, at the threshold of perceptibility.

The concern of UIE is to achieve a unique method for flicker evaluation using an evaluation procedure that is equally applicable to any kind of fluctuating load. The specification of limits for the disturbances generated by the various categories of equipment is the task of the appropriate standardization bodies.

To take account of the mechanisms of vision and the building up of annoyance, the flicker shall be evaluated over a sufficiently representative period of time. Moreover because of the random nature of flicker caused by some loads it must be assumed that during this time its instantaneous level can be widely and unpredictably variable. It is important to check not only the maximum attained levels but also for what percentage of a significant observation period any given flicker level has been exceeded. To cover all cases, a statistical approach is essential and this requires a function to be established relating flicker sensation levels and the corresponding percentages of duration, over the observation period.

The steps to establish this function are the following:

- first the measured instantaneous flicker sensation levels at the output of Block 4 of the flickermeter are classified according to their value, thus obtaining their frequency distribution;
- when the observation period expires, the cumulative probability function (CPF) is established.

This method has been called "time at level classification" and is illustrated in figure 1.

Figure 2 shows the graphical representation of a CPF curve where, for clarity, only a small number of classes has been used.

Figures 3 to 5 give examples of CPF curves obtained for different disturbing loads. It can be seen that the shapes of the curves are dissimilar, yet a common criterion is required to describe them in a concise and meaningful way and so assess flicker severity quantitatively and objectively.

Si toutes les courbes de FPC suivaient une fonction de distribution gaussienne, par exemple, elles pourraient être caractérisées par quelques paramètres, tels que la valeur moyenne, l'écart type, etc. Cela n'étant pas le cas, une méthode multipoint pouvant être utilisée pour caractériser une courbe de FPC quelconque a été développée.

Un algorithme approprié tenant compte des différentes formes de courbes de FPC peut s'exprimer de la manière suivante:

$$P_{st} = \sqrt{K_1 P_1 + K_2 P_2 + \dots K_n P_n}$$

où:

$P_{st}$  est la valeur de la sévérité du flicker de courte durée;

$K_1$  à  $K_n$  sont les coefficients de pondération, et

$P_1, P_2$  à  $P_n$  sont les niveaux sur la courbe de FPC ayant une certaine probabilité d'être dépassés.

Les coefficients de pondération ont été déterminés de manière à indiquer correctement la sévérité du flicker dans une grande bande de fréquences de modulation rectangulaire de la tension d'entrée, mais en prenant en compte également la réponse à d'autres formes d'ondes.

Une solution stable peut être obtenue, en prenant cinq points étalons ou quantiles, c'est-à-dire:

| $P_{0,1}$ | le niveau dépassé pendant seulement | 0,1 % | de la période d'observation |
|-----------|-------------------------------------|-------|-----------------------------|
| $P_1$     | "                                   | "     | "                           |
| $P_3$     | "                                   | "     | "                           |
| $P_{10}$  | "                                   | "     | "                           |
| $P_{50}$  | "                                   | "     | "                           |

Le point de référence à 50 % représente le niveau moyen de flicker et donne une indication générale de l'ordre de grandeur de la perturbation. Les autres points sont choisis à partir de l'extrémité basse de l'échelle de probabilité pour pondérer d'une manière convenable les niveaux plus élevés de sensation, car ces derniers prennent une plus grande importance dans l'évaluation de la sévérité de la perturbation.

Il convient de noter que le niveau maximal de flicker observé pendant l'intervalle de temps sélectionné n'est pas pris en compte, parce qu'une seule crête, lorsqu'elle est de très courte durée, n'est pas représentative du niveau de flicker. Selon le concept de FPC, c'est le temps à un niveau donné qui donne l'indication la plus utile; le choix de 0,1 %, comme pourcentage minimal, offre une réponse satisfaisante lorsque le flicker est important et quand sa fréquence est faible.

Il convient de choisir une période d'observation appropriée. Cette période pourrait être choisie de manière à s'adapter au cycle de fonctionnement d'un matériel perturbateur particulier. Il est pourtant souhaitable de choisir une période qui soit indépendante de la nature de la source perturbatrice.

Pour atteindre cet objectif il a été nécessaire de reconsidérer le mécanisme physiologique de perception du flicker ainsi que les résultats d'essais sur des sujets humains. Ensuite, il a fallu essayer de déterminer l'intervalle de temps approprié pour représenter la réaction d'un observateur moyen vis-à-vis d'une gamme étendue de caractéristiques de flickers.

If all CPF curves followed a standard type of distribution, such as Gaussian, they might be characterised by a few parameters such as mean, standard deviation and so on. This not being the case, a multipoint method which could be used to characterise any CPF curve was developed.

A suitable algorithm for use with various shapes of CPF curves can be expressed as follows:

$$P_{st} = \sqrt{K_1 P_1 + K_2 P_2 + \dots K_n P_n}$$

where:

$P_{st}$  is the value of short-term flicker severity;

$K_1$  to  $K_n$  are weighting coefficients and

$P_1, P_2$  to  $P_n$  are CPF curve levels with an assigned probability of being exceeded.

The weighting coefficients were determined in such a way as to indicate the flicker severity correctly for a wide range of frequencies of rectangular modulation of the input voltage but the response to other waveshapes was also taken into account.

A stable solution can be obtained using five gauge points or percentiles, namely:

|           | the level exceeded by only |   |   | 0,1 % | of the observation period |   |   |
|-----------|----------------------------|---|---|-------|---------------------------|---|---|
| $P_{0,1}$ | "                          | " | " | 1 %   | "                         | " | " |
| $P_1$     | "                          | " | " | 3 %   | "                         | " | " |
| $P_3$     | "                          | " | " | 10 %  | "                         | " | " |
| $P_{10}$  | "                          | " | " | 50 %  | "                         | " | " |
| $P_{50}$  |                            |   |   |       |                           |   |   |

The 50 % reference point is the median level of flicker, giving a general indication of the order of magnitude of the disturbance. The other points are taken toward the low end of the probability scale to weight the higher sensation levels appropriately, because these are more significant in assessing the severity of the disturbance.

It should be noted that the maximum flicker level observed during the selected time interval is not included because a single peak level of very short duration cannot be representative of a flicker occurrence. The foundation of the CPF concept is that time at a given level gives the more useful indication; the choice of 0,1 % as a minimum percentile provides a suitable response for large, infrequent flicker amplitudes.

A suitable observation period should be chosen. This could be selected to match the duty cycle of a specific disturbing equipment but it is desirable to adopt a common time, independent of the specific type of disturbing source being considered.

In fulfilling this objective it has been necessary to consider again the physiology of flicker perception and the results of tests on human subjects and to try to determine what time interval would be appropriate to represent the reaction of the average observer to a wide range of flicker characteristics.

Un intervalle de 10 min a été jugé comme étant un bon compromis. Il est assez long pour éviter d'accorder trop d'importance à des variations isolées de tension. Il est aussi assez long pour permettre à une personne non avertie de remarquer la perturbation et sa persistance, mais il est en même temps assez court pour permettre de caractériser de façon fine un matériel perturbateur avec un long cycle de fonctionnement. Le fait que le temps d'observation indiqué dans la CEI 555-3 soit le même que l'intervalle de temps choisi est important.

## 2 Evaluation de la sévérité du flicker de courte durée

### 2.1 Choix d'un algorithme multipoint

Le choix d'un algorithme multipoint convenable a soulevé un autre problème: celui de relier l'évaluation multipoint à la sévérité du flicker.

On disposait d'un nombre limité de résultats d'essais sur des réponses subjectives de sujets humains qui pouvaient être utilisés pour relier la sévérité du flicker aux courbes non linéaires de FPC. Cependant, à partir de recherches antérieures concernant les mesures de réactions humaines, il apparaissait que la partie concernant les fréquences élevées de la courbe limite donnée dans la CEI 555-3 (figure 6a) se trouvait en parfaite conformité avec les résultats expérimentaux reliant la sévérité du flicker aux plaintes de l'utilisateur dans le cas de formes d'ondes rectangulaires de perturbations.

D'une part, il apparaissait que la partie de la courbe limite au-delà de la plage 1 à 0,1 variation par minute ne correspondait pas à une mesure fidèle de la sévérité du flicker, mais qu'il fallait introduire la limite de 3 % de variation de la tension pour des raisons autres que celles qui concernent la limitation de la gêne due au flicker. Une relation réaliste pour l'évaluation du flicker exigerait que la courbe de sévérité soit prolongée jusqu'à un niveau de variation de tension de 7,5 % avec 0,1 variation par minute (figure 6b). Il a donc été décidé de définir un algorithme multipoint à partir de cette courbe de réponse rectangulaire modifiée et de vérifier ensuite sa validité en se basant sur les résultats de mesures ultérieures des réactions humaines.

Les valeurs suivantes ont été obtenues pour les coefficients  $K$ :

|     |      |       |           |   |        |
|-----|------|-------|-----------|---|--------|
| $K$ | pour | 0,1 % | du niveau | = | 0,0314 |
| $K$ | pour | 1 %   | "         | = | 0,0525 |
| $K$ | pour | 3 %   | "         | = | 0,0657 |
| $K$ | pour | 10 %  | "         | = | 0,28   |
| $K$ | pour | 50 %  | "         | = | 0,08   |

Tous les coefficients choisis sont positifs, ce qui prouve que les valeurs de sévérité du flicker qui en résultent restent stables, c'est-à-dire qu'aucune oscillation n'apparaît du fait de variations de tension (échelle: à coups par minute).

Pour la courte période d'évaluation de 10 min, la sévérité du flicker pouvait donc s'exprimer par l'équation:

$$P_{st} = \sqrt{0,0314 P_{0,1} + 0,0525 P_1 + 0,0657 P_3 + 0,28 P_{10} + 0,08 P_{50}}$$

An interval of 10 min has been selected as a good compromise. It is long enough to avoid giving too much importance to isolated voltage changes. It is also long enough to allow an unaware subject to notice the disturbance and its persistence, but at the same time it is short enough to allow a detailed characterization of a disturbing equipment with a long lasting duty cycle. It is an important advantage that the same interval is the observation time specified in IEC 555-3.

## 2 Short-term flicker severity assessment

### 2.1 Choosing the multipoint algorithm

In choosing a suitable multipoint algorithm, another problem had to be resolved, that of relating the multipoint evaluation to flicker severity.

A limited number of human subjective response test results was available, which could be used to relate flicker severity with non-linear CPF curves. However, from investigations made into earlier work concerning human subjective response measurements, it appeared that the higher frequency part of the limit curve given in IEC 555-3 (Figure 6a) corresponds fairly well to the experimental results which relate flicker severity to consumer complaints for rectangular disturbance waveforms.

On the other hand it appeared that the part of the limit curve over the range 1 to 0,1 changes per minute was not a true measure of flicker severity but the 3 % limit of voltage change had to be introduced for reasons other than that of limiting flicker annoyance. A realistic relationship for flicker evaluation requires that the severity curve be extended to the 7,5 % voltage change level at 0,1 changes per minute (Figure 6b). It was therefore decided to determine a multipoint algorithm from this modified rectangular response curve and then to test its validity from results of subsequent human subjective response measurements.

The following values were obtained for the  $K$  coefficients:

|     |     |       |       |   |        |
|-----|-----|-------|-------|---|--------|
| $K$ | for | 0,1 % | level | = | 0,0314 |
| $K$ | for | 1 %   | "     | = | 0,0525 |
| $K$ | for | 3 %   | "     | = | 0,0657 |
| $K$ | for | 10 %  | "     | = | 0,28   |
| $K$ | for | 50 %  | "     | = | 0,08   |

All chosen coefficients are positive, which ensures that the resulting values for flicker severity remain stable i.e. they do not appear to be oscillatory in relation to variations on the voltage changes per minute scale.

For the agreed short-term assessment period of 10 min, the flicker severity was therefore expressed by the equation:

$$P_{st} = \sqrt{0,0314 P_{0,1} + 0,0525 P_1 + 0,0657 P_3 + 0,28 P_{10} + 0,08 P_{50}}$$



Pour vérifier la précision de cette évaluation de la sévérité du flicker et garantir la stabilité des résultats dans le cas de fluctuations régulières, on a utilisé l'algorithme multipoint pour évaluer chaque niveau limite donné dans le tableau de la CEI pour la période spécifiée de 10 min. Les résultats sont présentés dans le tableau 1 sous la rubrique « non lissé » ainsi que dans la figure 6a.

La figure 6a montre que la différence la plus importante entre la courbe de sévérité et la partie droite de la courbe limite de la CEI est d'environ 10 %, ce qui constitue un résultat satisfaisant. Il est cependant impossible d'obtenir une meilleure précision probablement en raison de l'origine empirique de la courbe CEI. La précision d'une telle courbe est évidemment limitée, ce qui interdit sa représentation mathématique exacte.

## 2.2 Vérification pratique de l'évaluation de $P_{st}$

Il s'avérait ensuite important de prouver que l'algorithme multipoint était en mesure de donner des réponses correctes pour différents types de perturbations. Le premier essai concernait les perturbations dues aux fours à arc. Les résultats ont été confrontés aux tensions de référence du flickermètre ERA. Une bonne corrélation a été obtenue avec les résultats d'essais effectués sur différentes installations.

On a décidé ensuite d'établir une corrélation dans le cas de perturbations liées aux démarrages de moteurs. Cette démonstration a été effectuée au Royaume-Uni au moyen d'essais de réponses de sujets humains à des formes simulées de perturbations. Cet essai a été réalisé dans des conditions correspondant à six variations par minute avec des perturbations rectangulaires. Les résultats issus du flickermètre étaient en bonne concordance avec les essais subjectifs et, de plus, la perturbation rectangulaire avait une variation de tension parfaitement conforme à la courbe de la CEI.

Une autre expérience d'évaluation de la sévérité du flicker a montré que dans le cas où il faudrait modifier la courbe de même sévérité en fonction de la fréquence des fluctuations de tension, les coefficients  $P_{st}$  pourraient être alors facilement adaptés pour se conformer à une nouvelle courbe.

L'UIE propose donc d'utiliser cette évaluation multipoint de la sévérité du flicker non seulement pour les appareils électrodomestiques et similaires dans les conditions d'essai de la CEI 555-3, mais également pour les fluctuations de tension provoquées par les charges industrielles y compris les fours à arc.

Le  $P_{st}$  est proposé seulement comme un moyen d'étalonnage du niveau de sévérité du flicker, son but principal étant de fournir une méthode internationale d'évaluation de la sévérité du flicker. L'UIE ne propose pas de valeur limite de  $P_{st}$ ; cela relève de la responsabilité des différents Comités nationaux et internationaux de normalisation.

Cependant, l'UIE est consciente de la nécessité de donner quelques indications sur l'utilisation du flickermètre pour l'évaluation des valeurs limites de sévérité du flicker.

Une valeur limite de  $P_{st}$  pourrait être prise supérieure ou inférieure à l'unité selon le cas, en tenant compte du fait que, dans les essais de laboratoire, une proportion importante des observateurs indique être gênée à partir d'un  $P_{st} = 1$ .

To check the accuracy of this flicker severity assessment and to ensure that the results were stable for regularly repeated fluctuations, the multipoint algorithm was used to evaluate every limit level given in the IEC table for the specified period of 10 min. The results are shown in table 1 under the sub-columns "unsmoothed" and in figure 6a.

It can be seen in Figure 6a that the greatest difference between the severity curve and the right-hand part of the IEC limit curve is about 10 %, which is a satisfactory result. A still better fit is however not possible the reason for that is probably the empirical origin of the IEC curve. The precision of such a curve is evidently limited and it is not suitable for exact mathematical representation.

## 2.2 Practical checking of the $P_{st}$ evaluation

The next requirement was to demonstrate that the multipoint algorithm gave correct responses for different types of supply disturbance. The first test was related to arc furnace disturbances and the results were checked against gauge point voltages obtained from the ERA flickermeter. Good correlation was obtained with test results obtained at different installations.

Next, it was decided to demonstrate correlation with disturbances associated with motor starting. This demonstration was carried out in the United Kingdom by arranging for human subjective response tests to be made with simulated shapes of disturbance and was performed for test conditions representing six changes per minute. The measurements also included rectangular disturbances. The results obtained from the flickermeter concurred with the test subject opinions and, incidentally, the rectangular disturbance had a voltage variation which agreed closely with the IEC curve.

Further experience in flicker severity evaluation showed that if there were a need to modify the curve of equal severity as a function of voltage fluctuation frequencies, then the  $P_{st}$  coefficients could easily be adapted to fit a new curve.

Therefore the UIE proposes that this multipoint evaluation of flicker severity should be used, not only for household and similar appliances under the test conditions of IEC 555-3, but that the same evaluation should be used for voltage fluctuations caused by industrial loads, including arc furnaces.

The quantity  $P_{st}$  is proposed only as a means to gauge the level of flicker severity, its main purpose being to provide an international method of flicker severity assessment. The UIE does not propose a limiting value for  $P_{st}$ , this is recognized to be the responsibility of the various International and National Standards Committees.

The UIE, however, is mindful of the need to give some guidance on how to use the flickermeter for evaluating limit values for flicker severity.

A limit value for  $P_{st}$  could be set as greater or less than unity according to the application, taking into account the fact that in laboratory tests a substantial proportion of observers report flicker as annoying when  $P_{st} = 1$ .

Tableau 1 - Variations de la tension admises par la CEI 555-3 comparées avec celles donnant une unité de sévérité du flicker ( $P_{st} = 1$ ) pour les différentes variations de la tension par minute avec utilisation d'un algorithme de 5 points non lissé et lissé

| Colonne 1<br>Variations<br>par minute | Colonne 2<br>Variations<br>relatives de<br>la tension<br>$\Delta U / U \%$ | Colonne 3<br>Variations de la tension<br>pour une unité de flicker<br>( $P_{st} = 1$ )<br>$\Delta U / U \%$ |       | Colonne 4<br>Différence en pour-cents<br>$\frac{\text{Colonne 3} - \text{Colonne 2}}{\text{Colonne 2}} \times 100 \%$ |       |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
|                                       |                                                                            | Non lissé                                                                                                   | Lissé | Non lissé                                                                                                             | Lissé |
|                                       |                                                                            |                                                                                                             |       |                                                                                                                       |       |
| 0,1                                   | 3,00                                                                       | 7,46                                                                                                        | 7,391 | --                                                                                                                    | --    |
| 0,2                                   | 3,00                                                                       | 4,52                                                                                                        | 4,584 | --                                                                                                                    | --    |
| 0,3                                   | 3,00                                                                       | 3,88                                                                                                        | 3,842 | --                                                                                                                    | --    |
| 0,4                                   | 3,00                                                                       | 3,52                                                                                                        | 3,540 | --                                                                                                                    | --    |
| 0,5                                   | 3,00                                                                       | 3,34                                                                                                        | 3,350 | --                                                                                                                    | --    |
| 0,6                                   | 3,00                                                                       | 3,14                                                                                                        | 3,196 | --                                                                                                                    | --    |
| 0,76                                  | 3,00                                                                       | 2,97                                                                                                        | 2,979 | -1,0                                                                                                                  | -0,7  |
| 0,84                                  | 2,90                                                                       | 2,90                                                                                                        | 2,867 | 0,0                                                                                                                   | -1,1  |
| 0,95                                  | 2,80                                                                       | 2,79                                                                                                        | 2,765 | -0,3                                                                                                                  | -0,4  |
| 1,06                                  | 2,70                                                                       | 2,70                                                                                                        | 2,679 | 0,0                                                                                                                   | -0,8  |
| 1,20                                  | 2,60                                                                       | 2,60                                                                                                        | 2,579 | 0,0                                                                                                                   | -0,8  |
| 1,36                                  | 2,50                                                                       | 2,49                                                                                                        | 2,484 | -0,4                                                                                                                  | -0,6  |
| 1,55                                  | 2,40                                                                       | 2,38                                                                                                        | 2,394 | -0,8                                                                                                                  | -0,3  |
| 1,78                                  | 2,30                                                                       | 2,26                                                                                                        | 2,294 | -1,7                                                                                                                  | -0,3  |
| 2,05                                  | 2,20                                                                       | 2,16                                                                                                        | 2,193 | -1,8                                                                                                                  | -0,3  |
| 2,39                                  | 2,10                                                                       | 2,07                                                                                                        | 2,091 | -1,4                                                                                                                  | -0,4  |
| 2,79                                  | 2,00                                                                       | 1,97                                                                                                        | 1,989 | -1,5                                                                                                                  | -0,6  |
| 3,29                                  | 1,90                                                                       | 1,88                                                                                                        | 1,893 | -1,0                                                                                                                  | -0,4  |
| 3,92                                  | 1,80                                                                       | 1,78                                                                                                        | 1,789 | -1,1                                                                                                                  | -0,6  |
| 4,71                                  | 1,70                                                                       | 1,70                                                                                                        | 1,679 | 0,0                                                                                                                   | -1,2  |
| 5,72                                  | 1,60                                                                       | 1,57                                                                                                        | 1,571 | -1,9                                                                                                                  | -1,8  |
| 7,04                                  | 1,50                                                                       | 1,47                                                                                                        | 1,456 | -2,0                                                                                                                  | -2,9  |
| 8,79                                  | 1,40                                                                       | 1,37                                                                                                        | 1,348 | -2,1                                                                                                                  | -3,7  |
| 11,16                                 | 1,30                                                                       | 1,24                                                                                                        | 1,244 | -4,6                                                                                                                  | -4,3  |
| 14,44                                 | 1,20                                                                       | 1,14                                                                                                        | 1,150 | -5,0                                                                                                                  | -4,2  |
| 19,10                                 | 1,10                                                                       | 1,04                                                                                                        | 1,062 | -5,5                                                                                                                  | -3,5  |
| 26,60                                 | 1,00                                                                       | 0,97                                                                                                        | 0,975 | -3,0                                                                                                                  | -2,5  |
| 32,00                                 | 0,95                                                                       | 0,93                                                                                                        | 0,942 | -2,1                                                                                                                  | -0,8  |
| 39,00                                 | 0,90                                                                       | 0,89                                                                                                        | 0,906 | -1,1                                                                                                                  | -0,7  |
| 48,70                                 | 0,85                                                                       | 0,86                                                                                                        | 0,866 | +1,2                                                                                                                  | +1,9  |
| 61,80                                 | 0,80                                                                       | 0,83                                                                                                        | 0,824 | +3,8                                                                                                                  | +3,0  |
| 80,50                                 | 0,75                                                                       | 0,78                                                                                                        | 0,782 | +4,0                                                                                                                  | +4,3  |
| 110,00                                | 0,70                                                                       | 0,72                                                                                                        | 0,725 | +2,9                                                                                                                  | +3,6  |
| 175,00                                | 0,65                                                                       | 0,63                                                                                                        | 0,635 | -3,1                                                                                                                  | -2,3  |
| 275,00                                | 0,60                                                                       | 0,55                                                                                                        | 0,551 | -8,3                                                                                                                  | -8,2  |
| 380,00                                | 0,55                                                                       | 0,50                                                                                                        | 0,500 | -9,1                                                                                                                  | -9,1  |
| 475,00                                | 0,50                                                                       | 0,48                                                                                                        | 0,476 | -4,0                                                                                                                  | -4,8  |
| 580,00                                | 0,45                                                                       | 0,43                                                                                                        | 0,423 | -4,4                                                                                                                  | -6,0  |
| 690,00                                | 0,40                                                                       | 0,37                                                                                                        | 0,367 | -7,5                                                                                                                  | -8,25 |
| 795,00                                | 0,35                                                                       | 0,32                                                                                                        | 0,321 | -8,6                                                                                                                  | -8,3  |
| 1052,00                               | 0,29                                                                       | 0,28                                                                                                        | 0,276 | -1,1                                                                                                                  | -4,8  |
| 1180,00                               | 0,30                                                                       | 0,29                                                                                                        | 0,283 | -3,3                                                                                                                  | -5,7  |
| 1400,00                               | 0,35                                                                       | 0,33                                                                                                        | 0,331 | -5,7                                                                                                                  | -5,4  |
| 1620,00                               | 0,40                                                                       | 0,40                                                                                                        | 0,402 | 0,0                                                                                                                   | +0,5  |
| 1800,00                               | 0,45                                                                       | 0,47                                                                                                        | 0,480 | +4,4                                                                                                                  | +6,7  |



Table 1 - Voltage changes just permitted by IEC 555-3 compared with those giving one unit flicker severity ( $P_{st} = 1$ ) for various changes of voltage per minute using unsmoothed and smoothed 5 point algorithm

| Column 1<br>Changes<br>per minute | Column 2<br>Relative<br>voltage<br>changes<br>$\Delta U / U\%$ | Column 3<br>Voltage change for<br>unit flicker<br>( $P_{st} = 1$ )<br>$\Delta U / U\%$ |          | Column 4<br>Percentage difference<br>$\frac{\text{Column 3} - \text{Column 2}}{\text{Column 2}} \times 100\%$ |          |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
|                                   |                                                                | Unsmoothed                                                                             | Smoothed | Unsmoothed                                                                                                    | Smoothed |
|                                   |                                                                |                                                                                        |          |                                                                                                               |          |
| 0,1                               | 3,00                                                           | 7,46                                                                                   | 7,391    | --                                                                                                            | --       |
| 0,2                               | 3,00                                                           | 4,52                                                                                   | 4,584    | --                                                                                                            | --       |
| 0,3                               | 3,00                                                           | 3,88                                                                                   | 3,842    | --                                                                                                            | --       |
| 0,4                               | 3,00                                                           | 3,52                                                                                   | 3,540    | --                                                                                                            | --       |
| 0,5                               | 3,00                                                           | 3,34                                                                                   | 3,350    | --                                                                                                            | --       |
| 0,6                               | 3,00                                                           | 3,14                                                                                   | 3,196    | --                                                                                                            | --       |
| 0,76                              | 3,00                                                           | 2,97                                                                                   | 2,979    | -1,0                                                                                                          | -0,7     |
| 0,84                              | 2,90                                                           | 2,90                                                                                   | 2,867    | 0,0                                                                                                           | -1,1     |
| 0,95                              | 2,80                                                           | 2,79                                                                                   | 2,765    | -0,3                                                                                                          | -0,4     |
| 1,06                              | 2,70                                                           | 2,70                                                                                   | 2,679    | 0,0                                                                                                           | -0,8     |
| 1,20                              | 2,60                                                           | 2,60                                                                                   | 2,579    | 0,0                                                                                                           | -0,8     |
| 1,36                              | 2,50                                                           | 2,49                                                                                   | 2,484    | -0,4                                                                                                          | -0,6     |
| 1,55                              | 2,40                                                           | 2,38                                                                                   | 2,394    | -0,8                                                                                                          | -0,3     |
| 1,78                              | 2,30                                                           | 2,26                                                                                   | 2,294    | -1,7                                                                                                          | -0,3     |
| 2,05                              | 2,20                                                           | 2,16                                                                                   | 2,193    | -1,8                                                                                                          | -0,3     |
| 2,39                              | 2,10                                                           | 2,07                                                                                   | 2,091    | -1,4                                                                                                          | -0,4     |
| 2,79                              | 2,00                                                           | 1,97                                                                                   | 1,989    | -1,5                                                                                                          | -0,6     |
| 3,29                              | 1,90                                                           | 1,88                                                                                   | 1,893    | -1,0                                                                                                          | -0,4     |
| 3,92                              | 1,80                                                           | 1,78                                                                                   | 1,789    | -1,1                                                                                                          | -0,6     |
| 4,71                              | 1,70                                                           | 1,70                                                                                   | 1,679    | 0,0                                                                                                           | -1,2     |
| 5,72                              | 1,60                                                           | 1,57                                                                                   | 1,571    | -1,9                                                                                                          | -1,8     |
| 7,04                              | 1,50                                                           | 1,47                                                                                   | 1,456    | -2,0                                                                                                          | -2,9     |
| 8,79                              | 1,40                                                           | 1,37                                                                                   | 1,348    | -2,1                                                                                                          | -3,7     |
| 11,16                             | 1,30                                                           | 1,24                                                                                   | 1,244    | -4,6                                                                                                          | -4,3     |
| 14,44                             | 1,20                                                           | 1,14                                                                                   | 1,150    | -5,0                                                                                                          | -4,2     |
| 19,10                             | 1,10                                                           | 1,04                                                                                   | 1,062    | -5,5                                                                                                          | -3,5     |
| 26,60                             | 1,00                                                           | 0,97                                                                                   | 0,975    | -3,0                                                                                                          | -2,5     |
| 32,00                             | 0,95                                                           | 0,93                                                                                   | 0,942    | -2,1                                                                                                          | -0,8     |
| 39,00                             | 0,90                                                           | 0,89                                                                                   | 0,906    | -1,1                                                                                                          | -0,7     |
| 48,70                             | 0,85                                                           | 0,86                                                                                   | 0,866    | +1,2                                                                                                          | +1,9     |
| 61,80                             | 0,80                                                           | 0,83                                                                                   | 0,824    | +3,8                                                                                                          | +3,0     |
| 80,50                             | 0,75                                                           | 0,78                                                                                   | 0,782    | +4,0                                                                                                          | +4,3     |
| 110,00                            | 0,70                                                           | 0,72                                                                                   | 0,725    | +2,9                                                                                                          | +3,6     |
| 175,00                            | 0,65                                                           | 0,63                                                                                   | 0,635    | -3,1                                                                                                          | -2,3     |
| 275,00                            | 0,60                                                           | 0,55                                                                                   | 0,551    | -8,3                                                                                                          | -8,2     |
| 380,00                            | 0,55                                                           | 0,50                                                                                   | 0,500    | -9,1                                                                                                          | -9,1     |
| 475,00                            | 0,50                                                           | 0,48                                                                                   | 0,476    | -4,0                                                                                                          | -4,8     |
| 580,00                            | 0,45                                                           | 0,43                                                                                   | 0,423    | -4,4                                                                                                          | -6,0     |
| 690,00                            | 0,40                                                           | 0,37                                                                                   | 0,367    | -7,5                                                                                                          | -8,25    |
| 795,00                            | 0,35                                                           | 0,32                                                                                   | 0,321    | -8,6                                                                                                          | -8,3     |
| 1052,00                           | 0,29                                                           | 0,28                                                                                   | 0,276    | -1,1                                                                                                          | -4,8     |
| 1180,00                           | 0,30                                                           | 0,29                                                                                   | 0,283    | -3,3                                                                                                          | -5,7     |
| 1400,00                           | 0,35                                                           | 0,33                                                                                   | 0,331    | -5,7                                                                                                          | -5,4     |
| 1620,00                           | 0,40                                                           | 0,40                                                                                   | 0,402    | 0,0                                                                                                           | +0,5     |
| 1800,00                           | 0,45                                                           | 0,47                                                                                   | 0,480    | +4,4                                                                                                          | +6,7     |

### 2.3 Correspondance entre les méthodes simplifiées et l'évaluation

La différence mentionnée ci-dessus entre la courbe  $P_{st} = 1$  et la partie droite de la courbe de la CEI 555 introduira une légère divergence (au plus 10 %) entre les méthodes simplifiées d'estimation et les mesures.

La pratique actuelle consiste à utiliser une méthode simplifiée d'estimation, en première approche, et à effectuer les mesures dans les cas de doute (quand les résultats se situent dans la limite des 10 %). Cela peut, cependant, provoquer des problèmes si les mesures sont difficiles voire impossibles à réaliser.

Une meilleure méthode que l'UIE recommande à la CEI est de reprendre légèrement la partie droite de la courbe limite de la CEI 555 de façon qu'elle soit identique à la courbe de  $P_{st} = 1$ . Les mesures de  $P_{st}$  (avec l'exigence complémentaire que les variations de la tension ne dépasseront en aucun cas 3 %) seront alors identiques aux résultats obtenus à l'aide de la méthode analytique.

### 3 Précision de l'évaluation de $P_{st}$

La méthode de classification utilisée pour l'obtention de la FPC peut introduire des erreurs du fait que, lors de la mise en œuvre pratique du bloc d'évaluation statistique, le nombre de classes doit être limité. De même en est-il de la résolution du convertisseur analogique numérique qui est utilisé aussi bien dans les spécifications du flickermètre numérique qu'analogique.

Cela signifie généralement que la véritable valeur du niveau associé à un quelconque quantile,  $P_k$  ( $k = 0,1; 1; 3; 10; 50$ ), n'est pas donnée directement, mais est située entre deux valeurs connues dans la distribution de classe.

Si chaque quantile  $P_k$  est estimé à l'aide de la valeur moyenne de la classe correspondante, l'erreur maximale de  $P_k$  sera:

$$|\varepsilon_{i \max}| = \frac{1}{2} \frac{F_s}{N}$$

où:

$N$  est le nombre de classes du classificateur

$F_s$  est la plage de mesure

En supposant que tous les quantiles coïncident avec le point limite de la classe, la valeur de  $P_{st}$  calculée sera:

$$P_{st} = \sqrt{P_{st \text{ vrai}}^2 \pm \frac{1}{2} \frac{F_s}{N} \sum_{i=1}^5 K_i} = \sqrt{P_{st \text{ vrai}}^2 \pm 0,2548 \frac{F_s}{N}}$$

### 2.3 Agreement between simplified assessment methods and evaluation

The above-mentioned difference between the  $P_{st} = 1$  curve and the right-hand part of the IEC 555 curve will cause a small discrepancy (maximum 10 %) between simplified assessment methods and measurements.

The present practice is to use a simplified assessment method as a first step and to perform measurements in case of doubt (when the results are within 10 % of the limit). It may, however, cause problems if measurements are difficult or even impossible to carry out.

As a better solution, the UIE recommends to the IEC to revise the right-hand part of the IEC 555 limit curve slightly, so as to be identical to the  $P_{st} = 1$  curve. Measuring  $P_{st}$  (with the additional requirement that the voltage changes shall not in any case exceed 3 %) will then give results identical to those obtained using the analytical method.

### 3 Accuracy of the $P_{st}$ evaluation

The classification method used to obtain the CPF may introduce errors due to the fact that in a practical implementation of the statistical evaluation block the number of classes shall be limited, as shall the resolution of the analogue-to-digital converter that is used for both digital and analogue designs of flickermeter.

This usually means that the true values of the level associated with any of the selected percentiles,  $P_k$  ( $k = 0,1; 1; 3; 10; 50$ ), is not given directly but lies between two known values in the classified distribution.

If each percentile  $P_k$  is estimated using the mean value of the corresponding class the maximum error on  $P_k$  will be:

$$|\epsilon_{i \max}| = \frac{1}{2} \frac{F_s}{N}$$

where:

$N$  is the number of classes in the classifier

$F_s$  is the measuring range

Assuming that all percentiles coincide with a class interval end point the calculated  $P_{st}$  values will be:

$$P_{st} = \sqrt{P_{st \text{ true}}^2 \pm \frac{1}{2} \frac{F_s}{N} \sum_{i=1}^5 K_i} = \sqrt{P_{st \text{ true}}^2 \pm 0,2548 \frac{F_s}{N}}$$

La valeur maximale possible de  $P_{st}$  sera atteinte quand tous les quantiles  $P_k$  tomberont dans la plus haute classe,  $M_{max}$ , ce qui correspond approximativement à la valeur de l'échelle complète,  $F_s$ , du calibre utilisé:

$$P_{st_{max}} = \sqrt{M_{max} \sum_{i=1}^5 K_i} = 0,7139 \sqrt{M_{max}}$$

Si le  $P_{st}$  réel calculé est une fraction  $\alpha$  de  $P_{st_{max}}$ , l'erreur relative maximale sera exprimée par:

$$\varepsilon_{max} \% = \frac{P_{st} - P_{st_{vrai}}}{P_{st_{vrai}}} 100 = 100 \left( \sqrt{1 + \frac{1}{2N\alpha^2}} - 1 \right)$$

On peut remarquer que l'erreur relative maximale ne dépend pas du calibre mais ne dépend que de  $\alpha$  et de  $N$ .

La figure 7 donne l'erreur maximale en fonction de  $\alpha$  et pour différentes valeurs de  $N$ .

Le tableau 2 indique les valeurs minimales de  $P_{st}$  mesurables avec une erreur maximale égale à 5 % pour différents calibres du flickermètre et pour différentes tailles du classificateur.

Tableau 2 - Valeurs minimales mesurables de  $P_{st}$  avec une erreur de 5 % pour chaque calibre et trois tailles du classificateur

| Calibre du flickermètre<br>exprimé en p.u. |                         | 4              | 16    | 64    | 400   | 1600  | 6400  |
|--------------------------------------------|-------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Classes                                    | $P_{st} / P_{st_{max}}$ | $P_{st_{max}}$ |       |       |       |       |       |
|                                            |                         | 1,42           | 2,85  | 5,7   | 14,2  | 28,5  | 57    |
| 64                                         | 0,275                   | 0,39           | 0,784 | 1,567 | 3,9   | 7,837 | 15,68 |
| 128                                        | 0,19                    | 0,27           | 0,542 | 1,083 | 2,698 | 5,415 | 10,83 |
| 256                                        | 0,125                   | 0,192          | 0,385 | 0,77  | 1,92  | 3,85  | 7,695 |

On peut voir que pour éviter d'avoir recours à un nombre de classes trop élevé, il fallait améliorer l'estimation des quantiles. On a examiné les avantages que pouvait procurer une méthode d'interpolation. La première possibilité consistait à utiliser une interpolation linéaire à l'intérieur d'une même classe, dans laquelle se trouve, inclus, un quantile à étudier, c'est-à-dire 0,1; 1; 3; 10 et 50 %.

The maximum possible value of  $P_{st}$  will occur when all percentiles  $P_k$  fall into the highest level class,  $M_{max}$ , that approximately corresponds to the full scale value,  $F_s$ , of the range being used:

$$P_{st_{max}} = \sqrt[5]{M_{max} \sum_{i=1}^5 K_i} = 0,7139 \sqrt[5]{M_{max}}$$

If the actual calculated  $P_{st}$  is a fraction  $\alpha$  of  $P_{st_{max}}$ , the maximum relative error will be expressed by:

$$\varepsilon_{max} \% = \frac{P_{st} - P_{st_{true}}}{P_{st_{true}}} 100 = 100 \left( \sqrt[5]{1 + \frac{1}{2N\alpha^2}} - 1 \right)$$

It can be seen that the maximum relative error is independent of the range and depends only on  $\alpha$  and  $N$ .

Figure 7 gives the maximum error as a function of  $\alpha$  and for different values of  $N$ .

Table 2 shows the minimum  $P_{st}$  values measurable with a maximum error of 5 %, for different flickermeter ranges and classifier sizes.

Table 2 - Minimum measurable  $P_{st}$  values with an error of 5 % for each range and three classifier sizes

| p.u. flickermeter range |                         | 4              | 16    | 64    | 400   | 1600  | 6400  |
|-------------------------|-------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Classes                 | $P_{st} / P_{st_{max}}$ | $P_{st_{max}}$ |       |       |       |       |       |
|                         |                         | 1,42           | 2,85  | 5,7   | 14,2  | 28,5  | 57    |
| 64                      | 0,275                   | 0,39           | 0,784 | 1,567 | 3,9   | 7,837 | 15,68 |
| 128                     | 0,19                    | 0,27           | 0,542 | 1,083 | 2,698 | 5,415 | 10,83 |
| 256                     | 0,125                   | 0,192          | 0,385 | 0,77  | 1,92  | 3,85  | 7,695 |

It can be seen that to avoid the need for too many classes the estimate of percentiles had to be improved and the benefits obtainable by an interpolation technique were examined. The first possibility was that of using a linear interpolation within the class interval in which a percentile of interest was included, e.g. 0,1; 1; 3; 10 and 50 %.

## 4 Interpolation

### 4.1 Interpolation linéaire

Si le classificateur est conçu comme indiqué en figure 8a, de sorte que la valeur de l'échelle,  $F_s$ , de la plage de mesure soit divisée en  $N$  échelons égaux, la largeur de chaque échelon aura pour valeur  $F_s/N$ . Si les classes sont numérotées de 1 à  $n$  à  $N$ , la classe  $n$  aura le niveau maximal  $P_n = nF_s/N$  et  $y_n$  % de la valeur de sortie sera supérieur ou égal au niveau  $P_n$ .

De même  $y_{n-1}$  % du niveau de sortie sera supérieur ou égal à  $(n-1)F_s/N$ . Si la courbe FPC est linéaire à l'intérieur de cette classe, alors, par interpolation linéaire, le niveau de sortie qui est égal ou supérieur à  $y_k$  % du niveau de sortie est donné par:

$$P_k = \frac{F_s}{N} [n - (y_k - y_n) / (y_{n-1} - y_n)]$$

### 4.2 Interpolation non linéaire

L'interpolation linéaire donne des résultats précis si la courbe FPC est sensiblement linéaire, sinon une interpolation non linéaire plus complexe peut être nécessaire. Une méthode qui a été adoptée avec succès consiste à adapter une formule quadratique aux niveaux correspondant aux points de l'extrémité supérieure des trois classes consécutives  $n-1$ ,  $n$  et  $n+1$  sur la courbe FPC.

Dans ce cas une formule quadratique peut être utilisée pour déterminer la valeur  $P_k$  à calculer qui se trouve dans la classe  $n$ .

Se référant à la figure 8b, le niveau sur la courbe de FPC est obtenu par la relation:

$$P_k = \frac{F_s}{N} \left[ n - 1 + \frac{1}{2H_2} (H_1 - \sqrt{H_3}) \right]$$

où:

$F_s/N$  est la largeur d'une classe

$$H_1 = \frac{1}{2} y_{n+1} - 2y_n + \frac{3}{2} y_{n-1}$$

$$H_2 = \frac{1}{2} y_{n+1} - y_n + \frac{1}{2} y_{n-1}$$

$$H_3 = H_1^2 - 4H_2 (y_{n-1} - y_k)$$

où  $y_n$  est la probabilité exprimée en pour-cent de l'extrémité droite de la classe  $n$ , etc.

### 4.3 Extrapolation de l'ordonnée à l'origine

Il peut arriver qu'un ou plusieurs quantiles intéressants,  $P_k$ , se situent dans l'intervalle de la première classe du classificateur. L'expérience a montré que l'interpolation entre le point zéro et le point situé au sommet de la première classe donne de mauvais résultats. En effet cela suppose implicitement que le niveau zéro sera dépassé avec une probabilité de 100 %.



## 4 Interpolation

### 4.1 Linear interpolation

If the classifier is arranged as shown in figure 8a, so that the full scale value,  $F_s$ , of the measuring range is divided into  $N$  equal steps, the width of each step will be  $F_s/N$ . If the classes are numbered 1 to  $n$  to  $N$ , class  $n$  will have a maximum level  $P_n = nF_s/N$  and  $y_n$  % of the output will be equal to or greater than the level  $P_n$ .

Similarly,  $y_{n-1}$  % of the output will be equal to or greater than  $(n-1)F_s/N$ . If the CPF curve can be considered as linear over this range, then, by linear interpolation, the level of output that is equal to or exceeded by  $y_k$  % of the output is given by:

$$P_k = \frac{F_s}{N} \left[ n - (y_k - y_n) / (y_{n-1} - y_n) \right]$$

### 4.2 Non-linear interpolation

Linear interpolation gives accurate results when the CPF is reasonably linear, otherwise a more complex non-linear interpolation may be necessary. One technique which has been adopted successfully is to fit a quadratic formula to the levels corresponding to the upper end points of three consecutive classes,  $n-1$ ,  $n$  and  $n+1$  on the CPF.

In this case, a quadratic formula can be used to define the value  $P_k$  required, which lies in class  $n$ .

Referring to figure 8b the CPF level is obtained from the relationship:

$$P_k = \frac{F_s}{N} \left[ n - 1 + \frac{1}{2H_2} (H_1 - \sqrt{H_3}) \right]$$

where:

$F_s/N$  = class width

$$H_1 = \frac{1}{2} y_{n+1} - 2y_n + \frac{3}{2} y_{n-1}$$

$$H_2 = \frac{1}{2} y_{n+1} - y_n + \frac{1}{2} y_{n-1}$$

$$H_3 = H_1^2 - 4 H_2 (y_{n-1} - y_k)$$

where  $y_n$  is the percent probability at the right-hand end point of class  $n$  and so on.

### 4.3 Pseudo zero interpolation

It may happen that one or more percentiles of interest  $P_k$  lie in the interval of the first class of the classifier. Experience has shown that interpolating between zero and the upper end point of the first class gives poor results, because this makes the implicit assumption that a level of zero will be exceeded with a 100 % probability.

En pratique, une fonction de probabilité cumulée typique (FPC) peut couper l'axe des probabilités bien en dessous de 100 % puis monter verticalement le long de l'axe. Cela est indiqué en figure 5 pour un four à arc et pour des échelons de variations de tension de faible fréquence qui sont typiques des applications domestiques. Un moyen pour réduire les erreurs dans cette région consiste à extrapoler la fonction de probabilité cumulée vers l'axe des  $y$  afin de fournir une valeur de l'ordonnée à l'origine. Un algorithme approprié dans ce cas consiste à adapter une fonction quadratique aux trois premières valeurs de la classification  $y_n$  ( $n = 1, 2, 3$ ) en utilisant respectivement les coefficients de pondération de 3, -3, 1, (figure 9):

$$y_0 = (3y_1 - 3y_2 + y_3)$$

où  $y_0$  est la valeur de l'ordonnée à l'origine.

## 5 Lissage des quantiles

Quand on a étudié les charges qui produisent, lors de leur fonctionnement, une perturbation constante suivie d'une période d'enclenchements/déclenchements, on a noté qu'une petite variation dans le cycle de fonctionnement pouvait provoquer une modification brutale d'un des cinq quantiles. Il en résultait un changement notable du niveau de sévérité du flicker,  $P_{st}$ .

A titre d'exemple, on a étudié une charge qui produisait durant son fonctionnement une modulation sinusoïdale de la tension d'alimentation de 4 Hz. On a d'abord supposé que la charge fonctionnait durant 61 s puis elle a été coupée durant le reste de la période d'observation de 10 min. Le calcul effectué à l'aide d'un programme de simulation a montré que le niveau de sévérité du flicker correspondant,  $P_{st}$ , était de 0,62 unité. Le changement de la période de fonctionnement de 61 s à 59 s a réduit le  $P_{st}$  à 0,39. Cela résulte principalement du fait que le changement du cycle de fonctionnement a diminué  $P_{10}$  de 0,866 à 0,031.

Bien qu'un changement aussi brutal se produise rarement en pratique, il est important que la méthode d'évaluation du flicker soit capable de traiter la plage la plus étendue possible de charges fluctuantes. On recommande la procédure suivante. La déduction du  $P_{st}$  des cinq quantiles  $P_{0,1}$ ,  $P_1$ ,  $P_3$ ,  $P_{10}$  et  $P_{50}$ , mentionnés plus haut, reste inchangée mais des valeurs lissées de chacun de ces points seront obtenues à partir d'autres quantiles comme indiqué ci-après:

$$P_{50,1} = (P_{30} + P_{50} + P_{80}) / 3$$

$$P_{10,1} = (P_6 + P_8 + P_{10} + P_{13} + P_{17}) / 5$$

$$P_{3,1} = (P_{2,2} + P_3 + P_4) / 3$$

$$P_{1,1} = (P_{0,7} + P_1 + P_{1,5}) / 3$$

In practice, a typical cumulative probability function (CPF) can meet the probability axis well below the 100 % mark and then move vertically up the axis. This is shown in figure 5 for an arc furnace and for infrequent voltage step changes which are typical of domestic appliances. A way of reducing errors in this region is to extrapolate back the CPF points to provide a pseudo zero intercept value. An algorithm suitable for this purpose consists of fitting a quadratic function on the first three values of the classification  $y_n$  ( $n = 1, 2, 3$ ) using weighting coefficients of 3, -3 and 1, respectively (figure 9):

$$y_0 = (3y_1 - 3y_2 + y_3)$$

where  $y_0$  is the pseudo zero intercept value.

## 5 Smoothing percentile points

When studying loads that produce a constant disturbance when in operation but follow an on/off duty cycle it was noted that a small change in duty cycle could cause an abrupt change in one of the five percentile points and a significant change in the evaluated flicker severity,  $P_{st}$ .

As an example a load that produces, when working, a sinusoidal modulation of the supply voltage at 4 Hz was studied. It was first postulated that the load operated for 61 s and was switched off for the remainder of the observation period of 10 min. Calculation using a simulation programme showed that the corresponding flicker severity,  $P_{st}$  was 0,62 units. Changing the "on" period from 61 s to 59 s reduced  $P_{st}$  to 0,39. This was mainly because the change of duty cycle reduced  $P_{10}$  from 0,866 to 0,031.

Although such severe effects would probably seldom occur in practice, it is important that the method of flicker evaluation should be able to handle the widest possible range of fluctuating loads. The following procedure is recommended. The derivation of  $P_{st}$  from the five percentile points,  $P_{0,1}$ ,  $P_1$ ,  $P_3$ ,  $P_{10}$  and  $P_{50}$ , discussed above, is unchanged but smoothed values of each of these points are derived from subsidiary percentile points as follows:

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

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

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

$$P_{1s} = (P_{0,7} + P_1 + P_{1,5}) / 3$$

La constante de temps de mémoire de 0,3 s introduite au niveau du flickermètre interdit le changement brutal de  $P_{0,1}$  si bien qu'aucune valeur de lissage n'est nécessaire dans ce cas.

L'algorithme pour obtenir la sévérité du flicker  $P_{st}$  reste compatible avec celui déjà proposé par la CEI et permet d'obtenir des résultats logiques à partir des cinq quantiles lissés.

L'utilisation des points lissés dans l'exemple cité ci-dessus a fait l'objet d'une étude qui a donné les résultats suivants:

| Cycle de fonctionnement<br>(marche-arrêt/s) | $P_{st}$<br>non lissé | $P_{st}$<br>lissé |
|---------------------------------------------|-----------------------|-------------------|
|                                             |                       |                   |
| 61/539                                      | 0,622                 | 0,542             |
| 59/541                                      | 0,392                 | 0,497             |
| 57/543                                      | 0,380                 | 0,495             |

Des études ont été reprises pour toutes les perturbations de type rectangulaire issues de la courbe de la CEI 555, en utilisant des points quantiles lissés. Les résultats sont donnés au tableau 1 - à côté des résultats obtenus sans lissage. On peut voir qu'il n'y a pas de contradiction avec la courbe de la CEI.

## 6 Classification non linéaire

D'un point de vue pratique, l'emploi d'intervalles de même largeur pour le classificateur, exige un choix correct de l'échelle de mesure, ce qui n'est pas toujours facile à réaliser car les niveaux maximaux du flicker ne sont pas prévisibles.

Une façon de surmonter ces difficultés consiste à utiliser une classification non linéaire avec une grande étendue de mesure appropriée. Cela permet également de réduire les erreurs quand seulement quelques classes du classificateur sont affectées par les données d'entrée. Il vaut mieux utiliser une distribution logarithmique des largeurs des classes. Cette méthode permet de recouvrir la totalité de l'échelle de mesure spécifiée et d'obtenir la précision nécessaire lors de l'emploi de l'interpolation linéaire entre les classes. Ainsi le flickermètre est toujours employé à son échelle maximale car la répartition logarithmique, associée à une interpolation linéaire, limitera les erreurs de répartition en classe à une valeur inférieure à 0,5 % sans qu'il soit nécessaire d'utiliser la méthode d'extrapolation de l'ordonnée à l'origine.

Il a été proposé d'utiliser un classificateur linéaire en sortie 3 du flickermètre qui donne la racine carrée de la sensation instantanée du flicker, mais cela nécessite encore la sélection du calibre approprié.

The 0,3 s memory time-constant incorporated in the flickermeter circuit ensures that  $P_{0,1}$  cannot change abruptly and no further smoothing is needed.

The algorithm for obtaining  $P_{st}$  flicker severity remains compatible with that already proposed by the IEC and allows consistent results to be obtained from five smoothed gauge points.

The effect of using the smoothed percentile points on the example given above was examined and the following results obtained:

| Duty cycle<br>(on-off/s) | Unsmoothed | Smoothed |
|--------------------------|------------|----------|
|                          | $P_{st}$   | $P_{st}$ |
| 61/539                   | 0,622      | 0,542    |
| 59/541                   | 0,392      | 0,497    |
| 57/543                   | 0,380      | 0,495    |

Studies have been repeated for all the rectangular disturbances derived from the IEC 555 curve, but using the smoothed percentile points. The results are given in Table 1 - alongside those obtained without smoothing. It can be seen that there is no degradation of the fit to the IEC curve.

## 6 Non-linear classification

From a practical point of view the use of classifier intervals of equal width requires a correct selection of the measuring range and sometimes this is not easy to do because the maximum flicker levels are not predictable.

A way of overcoming this difficulty is to use non-linear classification over a suitably high measuring range. This also allows errors to be reduced when only a few registers of the classifier are affected by the incoming data. It is advantageous to use a logarithmic distribution of the class widths. This method offers a complete coverage of the specified measuring ranges and permits the specified accuracy to be achieved while using linear interpolation between classes. Thus the flickermeter can always be used at the highest measuring range since logarithmic scaling associated with linear interpolation will typically keep the classifying errors below 0,5 % without the need of pseudo zero extrapolation.

It has been suggested that a linear classifier could be used on the output 3 of the flickermeter, which gives the square root of the instantaneous flicker sensation but this still requires selection of the correct range.

## 7 Essais de performance, classificateur compris

L'examen des exigences pour qu'un classificateur soit capable d'analyser la sortie du flickermètre UIE montre qu'on doit utiliser une interpolation linéaire ou non linéaire entre différentes classes, afin de déterminer les cinq quantiles nécessaires pour évaluer la sévérité du flicker. La performance peut ensuite être évaluée en utilisant les essais suivants.

Chaque flickermètre, avec son classificateur, doit être soumis à des trains réguliers de variations rectangulaires de tension qui sont donnés dans le tableau 3 ci-dessous.

Tableau 3 - Valeurs d'essai pour le classificateur du flickermètre

| Variations par minute | Variation de la tension<br>$\Delta U/U\%$ |
|-----------------------|-------------------------------------------|
| 1                     | 2,724                                     |
| 2                     | 2,211                                     |
| 7                     | 1,459                                     |
| 39                    | 0,906                                     |
| 110                   | 0,725                                     |
| 1 620                 | 0,402                                     |

Dans chaque cas, la sévérité du flicker  $P_{st}$  sera  $1,0 \pm 5\%$ .

En outre, le fabricant déterminera la gamme d'amplitude de la valeur des variations de tension pour laquelle les valeurs correspondantes de  $P_{st}$  sont données avec une précision de  $\pm 5\%$  ou mieux.

Pour réaliser ces essais, la valeur de  $\Delta U/U\%$  donnée dans le tableau 3 sera augmentée ou diminuée tout en maintenant constant le taux de répétition. La valeur de  $P_{st}$  sera ainsi obtenue.

Si par exemple, pour un taux de répétition de sept variations par minute, l'amplitude de la variation de la tension d'entrée est augmentée d'un facteur 3, de 1,459 à 4,377 %, alors le  $P_{st}$  doit croître de  $1,0 \pm 5\%$  à  $3,0 \pm 5\%$ .

La gamme de mesure dans laquelle on conserve une précision de  $\pm 5\%$  est la gamme de fonctionnement du classificateur.

Si le classificateur présente différents calibres sélectionnables en fonction de la sensibilité, des essais semblables devront être réalisés pour chaque calibre.

## 7 Performance tests including the classifier

Consideration of the requirements for a classifier to analyse the output of the UIE flickermeter shows that it is necessary for it to use either linear or non-linear interpolation between the contents of the different classes, to determine the five percentile levels required for evaluating flicker severity. The performance can then be verified by the application of the following performance tests.

Each flickermeter, with its classifier, shall be subjected to the regular trains of rectangular voltage changes that are given in table 3 below.

Table 3 - Test specifications for flickermeter classifier

| Changes per minute | Voltage changes<br>$\Delta U / U \%$ |
|--------------------|--------------------------------------|
| 1                  | 2,724                                |
| 2                  | 2,211                                |
| 7                  | 1,459                                |
| 39                 | 0,906                                |
| 110                | 0,725                                |
| 1 620              | 0,402                                |

In each case the flicker severity  $P_{st}$  shall be  $1,0 \pm 5 \%$ .

In addition, the manufacturer shall determine the range of the magnitude of voltage changes for which the corresponding  $P_{st}$  values are given with an accuracy of  $\pm 5 \%$  or better.

To make these tests the magnitude of  $\Delta U / U \%$  given in table 3 shall be increased and decreased while keeping the repetition rate constant and the value of  $P_{st}$  shall be obtained.

If, for instance, at a repetition rate of seven changes per minute the input voltage changes are increased by a factor of 3 from 1,459 % to 4,377 %, then  $P_{st}$  should increase from  $1,0 \pm 5 \%$  to  $3,0 \pm 5 \%$ .

The range over which the accuracy of  $\pm 5 \%$  is maintained is the working range of the classifier.

If selectable sensitivity ranges are employed in the flickermeter, then similar tests shall be performed for each range.



## 8 Evaluation de la sévérité du flicker de longue durée

La période de 10 min sur laquelle a été basée l'évaluation de la sévérité du flicker de courte durée est valable pour l'estimation des perturbations causées par des sources individuelles telles que laminoirs, pompes à chaleur ou appareils électrodomestiques.

Dans les cas où l'effet combiné de plusieurs charges perturbantes fonctionnant de manière aléatoire (par exemple postes de soudure, moteurs) doit être pris en compte, ou quand il s'agit de sources de flicker à cycle de fonctionnement long ou variable (four électrique à arc), il est nécessaire d'utiliser un critère pour évaluer la perturbation ainsi créée sur une longue durée.

On a pensé qu'une technique fondée sur l'analyse des différents  $P_{st}$  10 min mesurés pendant la période d'observation pourrait être universelle.

En tenant compte de la procédure déjà utilisée pour l'obtention de l'algorithme de  $P_{st}$ , il serait souhaitable de caractériser également la sévérité du flicker de longue durée par une valeur issue de la méthode d'évaluation.

Ce résultat peut être obtenu par au moins quatre méthodes différentes:

- 1) analyse multipoint réalisée sur les FPC des niveaux de flicker instantanés accumulés sur toute la longue durée;
- 2) utilisation de  $P_{1,0}$  sur l'ensemble d'une longue accumulation (semblable à la prise en compte des valeurs 1 % les plus élevées);
- 3) point étalon (par exemple 10 % ou 5 %) de la distribution cumulée des valeurs de  $P_{st}$ ;
- 4) emploi d'une loi cubique lissant les valeurs  $P_{st}$ :

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

Ces différentes possibilités ont été confrontées à des idées forces jugées très importantes (se reporter au tableau 4):

- il n'est pas souhaitable de conserver les indications du classificateur durant la totalité de la période d'observation;
- l'effet de perturbations importantes mais peu fréquentes ne devrait pas apparaître comme trop atténué dans le résultat global de la procédure de classification pour l'évaluation de longue durée;
- il doit toutefois être possible de choisir une période spécifique de courte durée présentant un intérêt particulier;
- la méthode d'évaluation proposée devrait être vérifiée dans des situations connues où des plaintes se sont manifestées.

On peut voir que les méthodes 1 et 2 présentent l'inconvénient de devoir conserver tous les niveaux mesurés dans le classificateur pour toute la période d'expérimentation et que la méthode 2 présente l'inconvénient supplémentaire d'être incompatible avec une évaluation de courte durée.

## 8 Evaluation of long-term flicker severity

The period of 10 min on which the short-term flicker severity evaluation has been based is suitable for assessing the disturbances caused by individual sources such as rolling mills, heat pumps or domestic appliances.

In cases where the combined effect of several disturbing loads operating in a random way (e.g. welders, motors) has to be taken into account or when flicker sources with long and variable duty cycle (e.g. arc furnaces) are considered, it is necessary to provide a criterion for the long-term assessment of the generated disturbance.

It was considered that a technique based on the analysis of the sequence of 10 min  $P_{st}$  values obtained during the observation period would be universal in its application.

Following the course already discussed for the derivation of the  $P_{st}$  algorithm, it would be desirable to characterize also the long-term flicker severity by a single value assessment method.

This result can be obtained by at least four different methods:

- 1) multipoint analysis carried out on the CPF of the instantaneous flicker levels accumulated over the long term;
- 2) use of  $P_{1,0}$  over the long-term accumulation (similar to checking the highest 1 % readings);
- 3) gauge point (e.g. 10 % or 5 %) of the cumulative distribution of  $P_{st}$  values;
- 4) use of a cubic law smoothing of the  $P_{st}$  values:

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

These different possibilities were evaluated against some guiding principles which were found to be of fundamental importance (see table 4):

- it is not desirable to have to keep the classifier readings for the whole observation period;
- the effect of large but infrequent disturbances should not be too much attenuated in the overall result of the classification procedure for the long-term evaluation;
- it must still be possible to single out a specific short-term period that can be of special interest;
- the suggested evaluation method should be checked for known situations in terms of thresholds of complaints.

It can be seen that methods 1 and 2 share the disadvantages of requiring retention of all measured levels in the classifier over the test period and method 2 has the additional disadvantage of being inconsistent with the short-term assessment.

La méthode du point étalon ne convient pas pour l'évaluation de perturbations importantes et peu fréquentes, quand leur fréquence d'apparition est inférieure à celle du point étalon; cela rend son utilisation impossible dans certaines applications. De plus, quelques heures d'acquisition sont nécessaires avant d'obtenir un résultat.

Par conséquent, l'emploi d'une valeur représentant la sévérité de longue durée calculée par la méthode multipoint ou par la méthode de la racine cubique s'est avéré être le meilleur choix pour les recherches futures.

La figure 10 donne un exemple d'application des quatre méthodes dans le cas d'un essai effectué sur un four à arc pendant une période de 20 h.

Le tableau 5 donne les résultats d'un essai utilisant la loi cubique. Ces résultats ont confirmé que cette méthode d'évaluation donnait des indications compatibles et avait suffisamment d'avantages pour justifier son adoption.

## 9 Référence

«Raccordement de charges fluctuantes». UIE, juillet 1988.

Tableau 4 - Comparaison des méthodes d'évaluation du flicker de longue durée

| Méthode d'évaluation du flicker de longue durée                                                            | Avantages                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Inconvénients                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Analyse multipoint des lectures sur une longue durée                                                    | Utilise la même méthode de calcul que celle employée pour la sévérité du flicker de courte durée                                                                                                                                                                                                                                    | Tendance à négliger les perturbations importantes et peu fréquentes. Exige de conserver toutes les lectures du classificateur sur toute la période choisie d'un essai                                                      |
| 2. Emploi du quantile $P_{1,0}$ du contenu du classificateur sur une longue durée                          | Semblable aux évaluations mesurées en utilisant les valeurs à 1 % les plus élevées                                                                                                                                                                                                                                                  | Nécessité de conserver toutes les lectures du classificateur sur toute la période d'essai. Ignore la forme globale de la distribution des lectures.<br>Tendance à négliger les perturbations importantes et peu fréquentes |
| 3. Points étalons (par exemple 5 % ou 100 %) de la fonction de probabilité cumulée des valeurs de $P_{st}$ | Pondère de façon trop importante le flicker le plus sévère durant l'évaluation                                                                                                                                                                                                                                                      | Néglige les perturbations importantes dont la fréquence d'apparition est inférieure à celle du point étalon                                                                                                                |
| 4. Racine cubique de la valeur moyenne des $P_{st}$ au cube                                                | Donne presque la même réponse que l'analyse multipoint examinée ci-dessus.<br>Exige peu de stockage de données (seulement les valeurs de $P_{st}$ )<br>Facile d'analyser une période donnée à partir d'un essai.<br>Prend en compte les valeurs de $P_{st}$ peu fréquentes<br>Inclut toutes les valeurs de $P_{st}$ dans la période | Pour des valeurs largement réparties sur toute la gamme de distribution, comme dans le cas de fours à arc, environ 50 % des valeurs des $P_{st}$ sont supérieures à la sévérité de longue durée                            |

The gauge point method fails to assess the severity of infrequent large disturbances when their frequency of occurrence is less than the gauge point, making it unsuitable for use in certain applications, moreover it requires several hours of data before an answer can be obtained.

Hence, the use of a long-term severity value given by the multipoint method or the cube root method seemed the best choice for further investigations.

Figure 10 gives an example of application of the four methods to the results of a test on an arc furnace over a period of 20 h.

Table 5 gives the results of a practical test on the cube law evaluation. These results have confirmed that this assessment method gives consistent indications and has sufficient advantages to justify its adoption.

## 9 Reference

"Connection of fluctuating loads". UIE, July 1988.

Table 4 - Comparison of methods of long-term flicker evaluation

| Method of long-term flicker evaluation                                                   | Advantages                                                                                                                                                                                                                                                             | Disadvantages                                                                                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Multipoint analysis of readings accumulated over the long term                        | Uses the same calculation method as that used for short-term flicker severity                                                                                                                                                                                          | Tends to neglect infrequent large disturbances. Requires retention of all the classifier readings over the test period. Difficult to analyse a chosen period from a test           |
| 2. Use of $P_{1,0}$ of classifier content over long-term                                 | Similar to meter evaluations using highest 1 % readings                                                                                                                                                                                                                | Requires retention of all the classifier readings over the test period<br>Ignores the overall shape of the distribution of readings. Tends to neglect infrequent large disturbance |
| 3. Gauge point (e.g. 5 % or 10 %) of cumulative distribution function of $P_{st}$ values | Emphasizes the significance of the most severe flicker in making the assessment                                                                                                                                                                                        | Neglects large disturbances whose frequency of occurrence is less than the gauge point                                                                                             |
| 4. Cube root of the mean of cubes of $P_{st}$ values                                     | Gives almost the same answer as multipoint analysis described above<br>Needs little data storage (only $P_{st}$ values)<br><br>Easy to analyse a chosen period from a test<br>Does not ignore infrequent $P_{st}$ values<br>Includes all $P_{st}$ values in the period | For widely distributed readings such as those from an arc furnace about 50 % of the $P_{st}$ values exceed the long-term severity                                                  |

Tableau 5 - Application de la méthode «loi cubique» pour l'évaluation du  $P_{lt}$

|                                                                                | Période d'observation                 | $P_{st\ max}$                        | $P_{lt}$                            | Nombre de valeurs de $P_{st} \geq P_{lt}$ (%) | $\frac{P_{st\ max}}{P_{lt}}$ (%)     | Sources     | Observation                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Appareil de soudure par points                                                 | -                                     | 3,0                                  |                                     | -                                             | -                                    | Royaume-Uni | Plaintes                                                                                                                                   |
| Soudure à arc et presses                                                       | -                                     | 1,85                                 | 1,17                                | 40                                            | 1,58                                 | Royaume-Uni | Plaintes                                                                                                                                   |
| Four à arc                                                                     | 9 h                                   | 1,40                                 | 1,0                                 | 44                                            | 1,40                                 | Allemagne   | 2 fours (10 kV) plaintes                                                                                                                   |
|                                                                                | 61 h<br>13 h<br>106 h<br>81 h<br>65 h | 1,57<br>1,46<br>1,44<br>1,62<br>1,01 | 0,7<br>0,8<br>0,61<br>0,7<br>0,44   | 35<br>35<br>34<br>30<br>26                    | 2,24<br>1,82<br>2,36<br>2,31<br>2,90 | Allemagne   | 2 fours (110 kV), quelques plaintes                                                                                                        |
|                                                                                | 78 h<br>98 h<br>54 h<br>55 h<br>195 h | 1,59<br>1,50<br>1,36<br>1,49<br>1,35 | 0,46<br>0,42<br>0,48<br>0,42<br>0,4 | 20<br>21<br>24<br>22<br>-                     | 3,46<br>3,57<br>2,87<br>3,54<br>3,37 | Allemagne   | 1 four (110 kV), quelques plaintes. La dernière valeur concerne des mesures en des endroits autres que le PCC de l'installation précédente |
|                                                                                | 24 h<br>24 h                          | 4,60<br>1,24                         | 3,02<br>0,92                        | 50<br>42                                      | 1,52<br>1,35                         | Japon       | $P_{lt}$ moyen de 24, (les) valeurs de 1 h                                                                                                 |
|                                                                                | -                                     | 1,55                                 | 0,9                                 | 45                                            | 1,72                                 | Royaume-Uni | Pas de plainte, flicker visible.                                                                                                           |
|                                                                                | -                                     | 1,12                                 | 0,85                                | 50                                            | 1,32                                 |             | Pas de plainte, flicker visible.                                                                                                           |
|                                                                                | -                                     | 1,04                                 | 0,64                                | 46                                            | 1,63                                 |             | Quelques plaintes                                                                                                                          |
| Mine de charbon                                                                | -                                     | 0,8                                  | 0,63                                | 54                                            | 1,27                                 | Royaume-Uni | Pas de plainte, flicker visible                                                                                                            |
| Treuil de mine                                                                 | -                                     | 0,9                                  | 0,5                                 | 52                                            | 1,80                                 | Royaume-Uni | Pas de plainte                                                                                                                             |
| Démarrage de moteur 10 (chute de tension de 10 %) 50 Nombre de fois /jour: 100 | 1 semaine                             | 1,34                                 | 0,55<br>0,94<br>1,19                | -<br>-<br>-                                   | 2,44<br>1,43<br>1,13                 | Belgique    | Simulation                                                                                                                                 |
| Système d'éclairage d'une salle de bal                                         | 1 semaine                             | 3,5                                  | 0,63<br>0,80<br>0,91                | -<br>-<br>-                                   | 5,56<br>3,85<br>3,85                 | Belgique    | Fonctionnement seulement le samedi soir, a provoqué des plaintes                                                                           |
| Flicker bas et continu                                                         | indéfini                              | 0,6                                  | 0,6                                 | -                                             | 1                                    | Belgique    | Pour un flicker stable et continu $P_{st\ max} = P_{lt}$                                                                                   |

NOTE - Les données indiquées dans le tableau n'ont pas été obtenues sur une base homogène et ne donnent qu'une indication générale de résultats pratiques.

Table 5 - Application of the "cube law" method of  $P_{lt}$  evaluation

|                                 | Observation period                                             | $P_{st\max}$                         | $P_{lt}$                            | Number of values of $P_{st} \geq P_{lt}$ (%) | $\frac{P_{st\max}}{P_{lt}}$ (%)      | Sources        | Remarks                                                                                                                      |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Spot welders                    | –                                                              | 3,0                                  |                                     | –                                            | –                                    | United Kingdom | Complaints                                                                                                                   |
| Arc weld and presses            | –                                                              | 1,85                                 | 1,17                                | 40                                           | 1,58                                 | United Kingdom | Complaints                                                                                                                   |
| Arc furnaces                    | 9 h                                                            | 1,40                                 | 1,0                                 | 44                                           | 1,40                                 | Germany        | 2 furnaces (10 kV) complaints                                                                                                |
|                                 | 61 h<br>13 h<br>106 h<br>81 h<br>65 h                          | 1,57<br>1,46<br>1,44<br>1,62<br>1,01 | 0,7<br>0,8<br>0,61<br>0,7<br>0,44   | 35<br>35<br>34<br>30<br>26                   | 2,24<br>1,82<br>2,36<br>2,31<br>2,30 | Germany        | 2 furnaces (110 kV), some complaints                                                                                         |
|                                 | 78 h<br>98 h<br>54 h<br>55 h<br>195 h                          | 1,59<br>1,50<br>1,36<br>1,49<br>1,35 | 0,46<br>0,42<br>0,48<br>0,42<br>0,4 | 20<br>21<br>24<br>22<br>–                    | 3,46<br>3,57<br>2,87<br>3,54<br>3,37 | Germany        | 1 furnace (110 kV), some complaints. Last entry refers to measurements at points other than PCC of the previous installation |
|                                 | 24 h<br>24 h                                                   | 4,60<br>1,24                         | 3,02<br>0,92                        | 50<br>42                                     | 1,52<br>1,35                         | Japan          | $P_{lt}$ average of 24, 1 h values                                                                                           |
|                                 | –                                                              | 1,55                                 | 0,9                                 | 45                                           | 1,72                                 | United Kingdom | No complaints, flicker visible.                                                                                              |
|                                 | –                                                              | 1,12                                 | 0,85                                | 50                                           | 1,32                                 |                | No complaints, flicker visible.                                                                                              |
|                                 | –                                                              | 1,04                                 | 0,64                                | 46                                           | 1,63                                 |                | Some complaints                                                                                                              |
|                                 | –                                                              | 0,8                                  | 0,63                                | 54                                           | 1,27                                 | United Kingdom | No complaints, flicker visible                                                                                               |
|                                 | –                                                              | 0,9                                  | 0,5                                 | 52                                           | 1,80                                 | United Kingdom | No complaints                                                                                                                |
|                                 | Motor starting 10 (10 % voltage drop) 50<br>Times per day: 100 | 1,34                                 | 0,55<br>0,94<br>1,19                | –<br>–<br>–                                  | 2,44<br>1,43<br>1,13                 | Belgium        | Simulation                                                                                                                   |
| Lighting system of a dance hall | 1 week                                                         | 3,5                                  | 0,63<br>0,80<br>0,91                | –<br>–<br>–                                  | 5,56<br>3,85<br>3,85                 | Belgium        | Operation on Saturday night only, caused complaints                                                                          |
| Continuous low flicker          | indefinite                                                     | 0,6                                  | 0,6                                 | –                                            | 1                                    | Belgium        | For a continuous stable flicker $P_{st\max} = P_{lt}$                                                                        |

NOTE - The data shown in the table were not obtained on a uniform basis and give only a general indication of practical results.

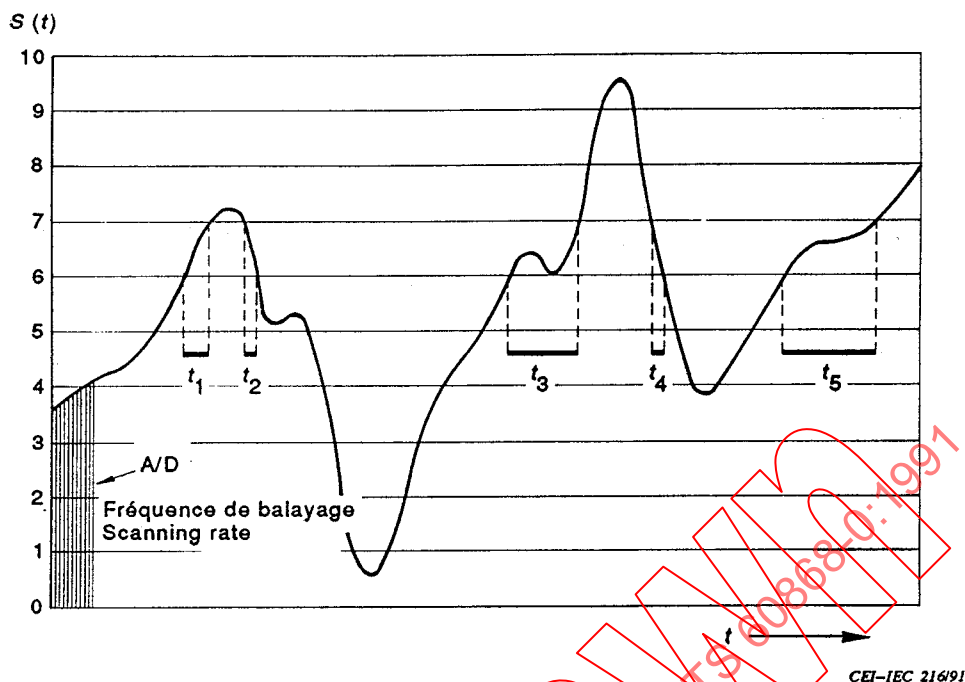


Figure 1 - Représentation schématique de la méthode «permanence à un niveau donné» montrant le niveau de flicker en fonction du temps. La permanence du signal dans la classe n° 7 est indiquée à titre d'exemple  $T_7 = \sum_{i=1,5} t_i$

Basic illustration of the "time at level" method showing flicker level as a time-varying function. Signal permanence in class No. 7 is indicated as an example  $T_7 = \sum_{i=1,5} t_i$

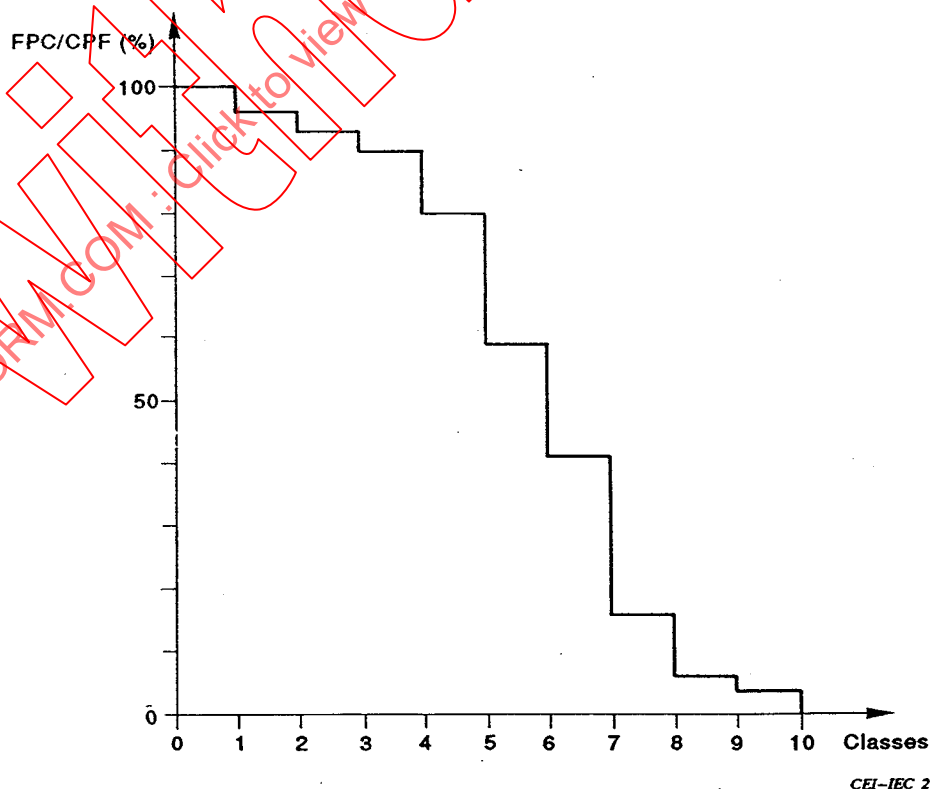


Figure 2 - Fonction de probabilité cumulée (FPC) de la présence du signal dans les classes 1 à 10

Cumulative probability function (CPF) of signal premanence in classes 1 to ten