

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC

61000-4-15

1997

AMENDEMENT 1

AMENDMENT 1

2003-01

PUBLICATION FONDAMENTALE EN CEM
BASIC EMC PUBLICATION

Amendement 1

Compatibilité électromagnétique (CEM) –

Partie 4-15:

Techniques d'essai et de mesure –

**Flickermètre – Spécifications fonctionnelles
et de conception**

Amendment 1

Electromagnetic compatibility (EMC) –

Part 4-15:

Testing and measurement techniques –

**Flickermeter – Functional and design
specifications**

© IEC 2003 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

L

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

AVANT-PROPOS

Cet amendement a été préparé par le sous-comité 77A: Phénomènes basse fréquence, du comité technique 77 de la CEI: Compatibilité électromagnétique.

Le texte de cet amendement est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
77A/389/FDIS	77A/399/RVD

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

Le comité a décidé que le contenu de la publication de base et de ses amendements ne sera pas modifié avant 2006. A cette date, la publication sera

- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

Page 2

SOMMAIRE

Remplacer le titre de la figure 1 et ajouter le titre de la figure B.1 comme suit:

Figure 1 – Schéma fonctionnel du flickermètre de la CEI

Figure B.1 – Variation de tension rectangulaire $\Delta V/V = 40 \%$, 8,8 Hz, 17,6 variations/seconde

Ajouter, après les figures, les titres des tableaux suivants:

Tableau 1 – Réponse normalisée d'un flickermètre pour des fluctuations sinusoïdales de la tension

Tableau 2 – Réponse normalisée d'un flickermètre pour des fluctuations rectangulaires de la tension

Tableau 3 – Plage des tensions d'entrée assignées

Tableau 4 – Relation entre les valeurs du sélecteur de gammes et les niveaux de sensation

Tableau 5 – Spécifications d'essais pour la classification du flickermètre

Tableau 6 – Essais d'isolement pour l'entrée et les raccordements à la source d'alimentation

Tableau 7 – Essais pour l'évaluation de l'immunité aux perturbations électromagnétiques

Tableau 8 – Valeurs indicatives des paramètres de lampes

Ajouter, après le titre de l'annexe A, les nouveaux éléments suivants:

Annexe B – Signification du $\Delta V/V$ et du nombre de variations de tension

Bibliographie

FOREWORD

This amendment has been prepared by subcommittee 77A: Low-frequency phenomena, of IEC technical committee 77: Electromagnetic compatibility.

The text of this amendment is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
77A/389/FDIS	77A/399/RVD

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

The committee has decided that the contents of the base publication and its amendments will remain unchanged until 2006. At this date, the publication will be

- reconfirmed;
- withdrawn;
- replaced by a revised edition, or
- amended.

Page 3

CONTENTS

Replace the title of Figure 1 and add the title of Figure B.1 as follows:

Figure 1 – Functional diagram of IEC flickermeter

Figure B.1 – Rectangular voltage change $\Delta V/V = 40\%$, 8,8 Hz, 17,6 changes/second

Add, after the figures, the following table titles:

Table 1 – Normalized flickermeter response for sinusoidal voltage fluctuations

Table 2 – Normalized flickermeter response for rectangular voltage fluctuations

Table 3 – Ranges of rated input voltage

Table 4 – Relationship between the range selector values and sensation levels

Table 5 – Test specifications for flickermeter classifier

Table 6 – Insulation tests for input and power supply connection

Table 7 – Immunity assessment tests to electromagnetic interference

Table 8 – Indicative values for the parameters of lamps

Add, after the title of Annex A, the following new elements:

Annex B – Meaning of $\Delta V/V$ and number of voltage changes

Bibliography

Page 8

1 Domaine d'application et objet

Remplacer le second alinéa par ce qui suit:

Cette section s'appuie en partie sur les travaux du Groupe de Travail « Perturbations » de l'Union Internationale de l'Electrothermie (UIÉ), en partie sur les travaux d'IEEE et en partie sur les travaux effectués au sein de la CEI. Dans cette section, les spécifications du flickermètre ne concernent que des mesures effectuées sous 230 V, 50 Hz et des mesures effectuées sous 120 V, 60 Hz; les spécifications concernant d'autres tensions et d'autres fréquences sont à l'étude.

2 Références normatives

Supprimer, de la liste existante, la norme suivante:

CEI 61000-3-3:1994, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 3: Limites – Section 3: Limitation des fluctuations de tension et du flicker dans les réseaux basse tension pour les équipements ayant un courant appelé ≤ 16 A*

Page 12

3.2 Bloc 1 – Adaptateur de tension d'entrée et circuit de vérification d'étalonnage

Supprimer la note existante.

3.4 Blocs 3 et 4 – Filtres de pondération, élévation au carré et lissage

Modifier la première phrase du troisième alinéa comme suit:

Le second filtre est un filtre de pondération qui simule la combinaison de la réponse spectrale d'une lampe à remplissage de gaz inerte à filament bi-spirale (60 W – 230 V et/ou 60 W – 120 V) avec la réponse de l'œil humain pour des fluctuations sinusoïdales de tension.

Modifier la première phrase de la note à la suite du troisième alinéa comme suit:

NOTE Une lampe à filament servant de référence pour les réseaux 100 V aurait une réponse en fréquence différente et nécessiterait donc un réglage du filtre de pondération.

Page 16

4.1 Réponse analogique

Ajouter, à la fin du premier alinéa, la phrase suivante:

Les tableaux 1 et 2 donnent des valeurs pour les réseaux 120 V/60 Hz et 230 V/50 Hz.

Page 9

1 Scope and object

Replace the second paragraph by the following:

This section is based partly on work by the “Disturbances” Working Group of the International Union for Electroheat (UIE), partly on work of the IEEE, and partly on work within IEC itself. The flickermeter specifications in this section relate only to measurements of 230 V, 50 Hz inputs and 120 V, 60 Hz inputs; specifications for other voltages and other frequencies are under consideration.

2 Normative references

Delete, from the existing list, the following standard:

IEC 61000-3-3:1994, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3: Limits – Section 3: Limitation of voltage fluctuations and flicker in low-voltage supply systems for equipment with rated current ≤ 16 A*

Page 13

3.2 Block 1 – Input voltage adaptor and calibration checking circuit

Delete the existing note.

3.4 Blocks 3 and 4 – Weighting filters, squaring and smoothing

Change the first sentence of the third paragraph to read as follows:

The second filter is a weighting filter block that simulates the frequency response to sinusoidal voltage fluctuations of a coiled filament gas-filled lamp (60 W – 230 V and/or 60 W – 120 V) combined with the human visual system.

Change the first sentence of the note following the third paragraph to read:

NOTE A reference filament lamp for 100 V systems would have a different frequency response and would require a corresponding adjustment of the weighting filter.

Page 17

4.1 Analogue response

Add to the end of the first paragraph the following new sentence:

Tables 1 and 2 give values for 120 V/60 Hz and 230 V /50 Hz systems.

Remplacer, à la page 18, les tableaux 1 et 2 existants par les suivants:

Tableau 1 – Réponse normalisée d'un flickermètre pour des fluctuations sinusoïdales de la tension

(amplitude relative de la fluctuation de tension d'entrée $\Delta V/V$
pour une unité de perceptibilité en sortie 5)

Hz	Fluctuation de tension %		Hz	Fluctuation de tension %	
	Lampe 120 V réseau 60 Hz	Lampe 230 V réseau 50 Hz		Lampe 120 V réseau 60 Hz	Lampe 230 V réseau 50 Hz
0,5	2,457	2,340	10,0	0,339	0,260
1,0	1,463	1,432	10,5	0,355	0,270
1,5	1,124	1,080	11,0	0,374	0,282
2,0	0,940	0,882	11,5	0,394	0,296
2,5	0,814	0,754	12,0	0,420	0,312
3,0	0,716	0,654	13,0	0,470	0,348
3,5	0,636	0,568	14,0	0,530	0,388
4,0	0,569	0,500	15,0	0,593	0,432
4,5	0,514	0,446	16,0	0,662	0,480
5,0	0,465	0,398	17,0	0,737	0,530
5,5	0,426	0,360	18,0	0,815	0,584
6,0	0,393	0,328	19,0	0,897	0,640
6,5	0,366	0,300	20,0	0,981	0,700
7,0	0,346	0,280	21,0	1,071	0,760
7,5	0,332	0,266	22,0	1,164	0,824
8,0	0,323	0,256	23,0	1,262	0,890
8,8	0,321	0,250	24,0	1,365	0,962
9,5	0,330	0,254	25,0	1,472	1,042
			33,33	Essai non prescrit	2,130
			40,0	4,424	Essai non prescrit

Replace, on page 19, the existing Tables 1 and 2 by the following new tables:

Table 1 – Normalized flickermeter response for sinusoidal voltage fluctuations
(input relative voltage fluctuation $\Delta V/V$ for one unit of perceptibility at output 5)

Hz	Voltage fluctuation %		Hz	Voltage fluctuation %	
	120-V lamp 60 Hz system	230-V lamp 50 Hz system		120-V lamp 60 Hz system	230-V lamp 50 Hz system
0,5	2,457	2,340	10,0	0,339	0,260
1,0	1,463	1,432	10,5	0,355	0,270
1,5	1,124	1,080	11,0	0,374	0,282
2,0	0,940	0,882	11,5	0,394	0,296
2,5	0,814	0,754	12,0	0,420	0,312
3,0	0,716	0,654	13,0	0,470	0,348
3,5	0,636	0,568	14,0	0,530	0,388
4,0	0,569	0,500	15,0	0,593	0,432
4,5	0,514	0,446	16,0	0,662	0,480
5,0	0,465	0,398	17,0	0,737	0,530
5,5	0,426	0,360	18,0	0,815	0,584
6,0	0,393	0,328	19,0	0,897	0,640
6,5	0,366	0,300	20,0	0,981	0,700
7,0	0,346	0,280	21,0	1,071	0,760
7,5	0,332	0,266	22,0	1,164	0,824
8,0	0,323	0,256	23,0	1,262	0,890
8,8	0,321	0,250	24,0	1,365	0,962
9,5	0,330	0,254	25,0	1,472	1,042
			33,33	Test not required	2,130
			40,0	4,424	Test not required

**Tableau 2 – Réponse normalisée d'un flickermètre
pour des fluctuations rectangulaires de la tension**
(amplitude relative de la fluctuation de tension d'entrée $\Delta V/V$
pour une unité de perceptibilité en sortie 5)

Hz	Fluctuation de tension %		Hz	Fluctuation de tension %	
	Lampe 120 V réseau 60 Hz	Lampe 230 V réseau 50 Hz		Lampe 120 V réseau 60 Hz	Lampe 230 V réseau 50 Hz
0,5	0,600	0,514	10,0	0,264	0,205
1,0	0,547	0,471	10,5	0,280	0,213
1,5	0,504	0,432	11,0	0,297	0,223
2,0	0,471	0,401	11,5	0,309	0,234
2,5	0,439	0,374	12,0	0,323	0,246
3,0	0,421	0,355	13,0	0,369	0,275
3,5	0,407	0,345	14,0	0,411	0,308
4,0	0,394	0,333	15,0	0,459	0,344
4,5	0,371	0,316	16,0	0,513	0,376
5,0	0,349	0,293	17,0	0,580	0,413
5,5	0,323	0,269	18,0	0,632	0,452
6,0	0,302	0,249	19,0	0,692	0,498
6,5	0,282	0,231	20,0	0,752	0,546
7,0	0,269	0,217	21,0	0,818	0,586
7,5	0,258	0,207	22,0	0,853	0,604
8,0	0,255	0,201	23,0	0,946	0,680
8,8	0,253	0,199	24,0	1,072	0,743
9,5	0,257	0,200	33,33	Essai non prescrit	1,67
			40,0	3,46	Essai non prescrit

Table 2 – Normalized flickermeter response for rectangular voltage fluctuations
(input relative voltage fluctuation $\Delta V/V$ for one unit of perceptibility at output 5)

Hz	Voltage fluctuation %		Hz	Voltage fluctuation %	
	120 V lamp 60 Hz system	230 V lamp 50 Hz System		120 V lamp 60 Hz system	230 V lamp 50 Hz system
0,5	0,600	0,514	10,0	0,264	0,205
1,0	0,547	0,471	10,5	0,280	0,213
1,5	0,504	0,432	11,0	0,297	0,223
2,0	0,471	0,401	11,5	0,309	0,234
2,5	0,439	0,374	12,0	0,323	0,246
3,0	0,421	0,355	13,0	0,369	0,275
3,5	0,407	0,345	14,0	0,411	0,308
4,0	0,394	0,333	15,0	0,459	0,344
4,5	0,371	0,316	16,0	0,513	0,376
5,0	0,349	0,293	17,0	0,580	0,413
5,5	0,323	0,269	18,0	0,632	0,452
6,0	0,302	0,249	19,0	0,692	0,498
6,5	0,282	0,231	20,0	0,752	0,546
7,0	0,269	0,217	21,0	0,818	0,586
7,5	0,258	0,207	22,0	0,853	0,604
8,0	0,255	0,201	23,0	0,946	0,680
8,8	0,253	0,199	24,0	1,072	0,743
9,5	0,257	0,200	33,33	Test not required	1,67
			40,0	3,46	Test not required

Page 18

4.2 Transformateur d'entrée

Remplacer, à la page 20, le tableau 3 existant par le tableau suivant:

Tableau 3 – Plage des tensions d'entrée assignées

Tension d'entrée assignée V eff.	-30 % V eff.	+20 % V eff.
57,7	40	68
100	70	120
115	80,5	130
120	84	144
127	89	152
160	112	192
220	154	264
230	161	276
240	168	288
380	266	456
400	280	480
420	294	504

Page 20

4.3 Adaptateur de tension

Modifier la première phrase pour supprimer la référence à la valeur de 50 Hz comme suit:

A l'entrée du bloc 2, ce circuit doit maintenir la valeur efficace de tension modulée à un niveau constant...

4.4 Générateur interne de vérification de l'étalonnage

Modifier la première phrase comme suit:

Le générateur interne doit fournir une onde sinusoïdal à la fréquence du réseau, modulée par une onde rectangulaire de $(50/17)$ Hz = 2,94 Hz pour les réseaux à 50 Hz et par une onde rectangulaire de $(60/17)$ Hz = 3,53 Hz pour les réseaux à 60 Hz.

Page 22

4.6 Filtres de pondération

Remplacer le deuxième alinéa par l'alinéa et la note suivants:

Le filtre supprimeur des éléments indésirables comprend une section passe-haut du premier ordre (la fréquence de coupure recommandée à 3 dB est environ 0,05 Hz) et une section passe-bas, pour laquelle on suggère d'employer un filtre Butterworth de 6^{ème} ordre avec une fréquence de coupure de 35 Hz à 3 dB pour les réseaux 230 V/50 Hz et un filtre Butterworth de 6^{ème} ordre avec une fréquence de coupure de 42 Hz à 3 dB pour les réseaux 120 V/ 60 Hz.

Page 19

4.2 Input transfer

Replace, on page 21, the existing table 3 by the following table:

Table 3 – Ranges of rated input voltage

Rated input voltage V r.m.s.	–30 % V r.m.s.	+20 % V r.m.s.
57,7	40	68
100	70	120
115	80,5	130
120	84	144
127	89	152
160	112	192
220	154	264
230	161	276
240	168	288
380	266	456
400	280	480
420	294	504

Page 21

4.3 Voltage adaptor

Change the first sentence to delete the 50 Hz reference as shown:

This circuit shall keep the r.m.s. level of the modulated voltage at the input of block 2 at a constant...

4.4 Internal generator for calibration checking

Amend the first sentence to read as follows:

The internal generator shall provide a sine wave at mains frequency modulated by a (50/17) Hz = 2,94 Hz, rectangular voltage fluctuation for 50 Hz systems, and by a (60/17) Hz = 3,53 Hz, rectangular voltage fluctuation for 60 Hz systems.

Page 23

4.6 Weighting filters

Replace the second paragraph by the following paragraph and note:

The filter for the suppression of the unwanted components incorporates a first order high-pass (suggested 3 dB cut-off frequency at about 0,05 Hz) and a low-pass section, for which a Butterworth filter of 6th order with a 3 dB cut-off frequency of 35 Hz for 230 V/50 Hz systems is suggested. A 6th order Butterworth with a 3 dB cut-off-frequency of 42 Hz for 120 V/60 Hz systems is suggested.

NOTE L'usage d'autres filtres peut provoquer des problèmes. En cas de doute, les résultats obtenus à l'aide du filtre Butterworth sont considérés comme définitifs. La conception de nouveaux flickermètres numériques devrait permettre à l'avenir la mise en œuvre de filtres Butterworth jusqu'au 10^{ème} ordre par une simple modification de paramètres logiciels.

4.7 Réponse globale d'entrée en sortie de bloc 3

Remplacer la phrase sous l'équation commençant par « Les valeurs indicatives... » et les valeurs numériques consécutives (à l'exception de la note) par ce qui suit:

Les valeurs indicatives des paramètres sont listées dans le tableau 8 ci-dessous:

Tableau 8 – Valeurs indicatives des paramètres de lampes

Variable	Lampe de 230 V réseau de 50 Hz	Lampe de 120V réseau de 60 Hz
k	1,748 02	1,635 7
λ	$2 \cdot \pi \cdot 4,059\ 81$	$2 \cdot \pi \cdot 4,167\ 375$
ω_1	$2 \cdot \pi \cdot 9,154\ 94$	$2 \cdot \pi \cdot 9,077\ 169$
ω_2	$2 \cdot \pi \cdot 2,279\ 79$	$2 \cdot \pi \cdot 2,939\ 902$
ω_3	$2 \cdot \pi \cdot 1,225\ 35$	$2 \cdot \pi \cdot 1,394\ 468$
ω_4	$2 \cdot \pi \cdot 21,9$	$2 \cdot \pi \cdot 17,315\ 12$

Page 26

5 Essais de performances

Remplacer le tableau 5 existant par le tableau suivant:

Tableau 5 – Spécifications d'essais pour la classification du flickermètre

Variations rectangulaires par minute	Variations de tension $\frac{\Delta V}{V}$ %	
	Lampe de 120 V réseau de 60 Hz	Lampe de 230 V réseau de 50 Hz
1	3,166	2,724
2	2,568	2,211
7	1,695	1,459
39	1,044	0,906
110	0,841	0,725
1 620	0,547	0,402
4 000	Essai non prescrit	2,40
4 800	4,834	Essai non prescrit
NOTE 1 620 variations rectangulaires par minute correspondent à 13,5 Hz.		

NOTE The use of other filters may cause problems. In case of doubt, results obtained with the Butterworth filter are definitive. Digital implementation of new flickermeter designs should allow for future implementation of up to a 10th order Butterworth filter with simple software parameter changes.

4.7 Overall response from input to output of block 3

Replace the sentence after the equation beginning "Indicative values are listed below:..." and the subsequent numerical values (but not the note) by the following:

Indicative values are given in Table 8 below:

Table 8 – Indicative values for the parameters of lamps

Variable	230 V lamp 50 Hz system	120 V lamp 60 Hz system
κ	1,748 02	1,635 7
λ	$2 \cdot \pi \cdot 4,059\ 81$	$2 \cdot \pi \cdot 4,167\ 375$
ω_1	$2 \cdot \pi \cdot 9,154\ 94$	$2 \cdot \pi \cdot 9,077\ 169$
ω_2	$2 \cdot \pi \cdot 2,279\ 79$	$2 \cdot \pi \cdot 2,939\ 902$
ω_3	$2 \cdot \pi \cdot 1,225\ 35$	$2 \cdot \pi \cdot 1,394\ 468$
ω_4	$2 \cdot \pi \cdot 21,9$	$2 \cdot \pi \cdot 17,315\ 12$

Page 27

5 Performance testing

Replace table 5 by the following:

Table 5 – Test specification for flickermeter classifier

Rectangular changes per minute	Voltage changes $\frac{\Delta V}{V}$ %	
	120 V lamp 60 Hz system	230 V lamp 50 Hz system
1	3,166	2,724
2	2,568	2,211
7	1,695	1,459
39	1,044	0,906
110	0,841	0,725
1 620	0,547	0,402
4 000	Test not required	2,40
4 800	4,834	Test not required
NOTE 1 620 rectangular changes per minute corresponds to 13,5 Hz.		

Figure 1 – Diagramme fonctionnel du flickermètre UIE

Remplacer la figure 1 existante par la nouvelle figure suivante:

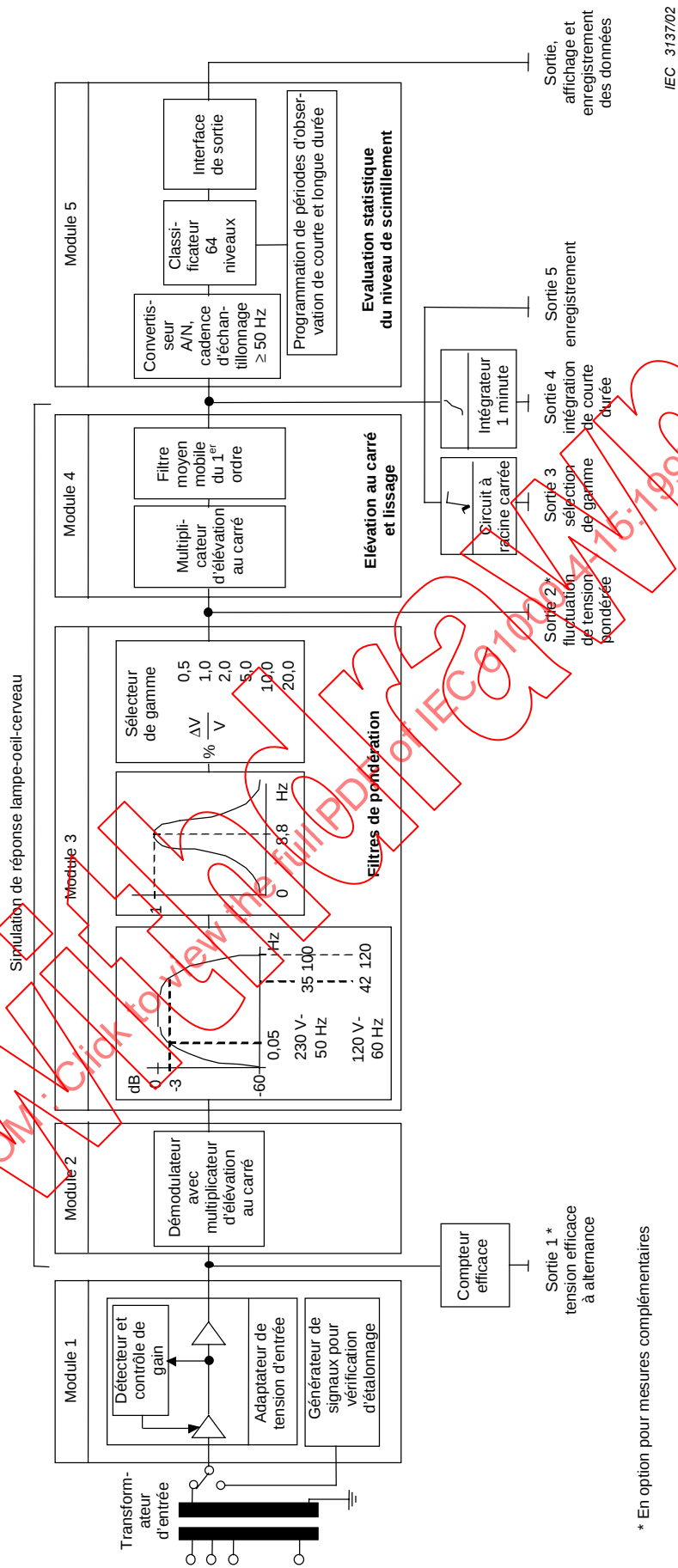
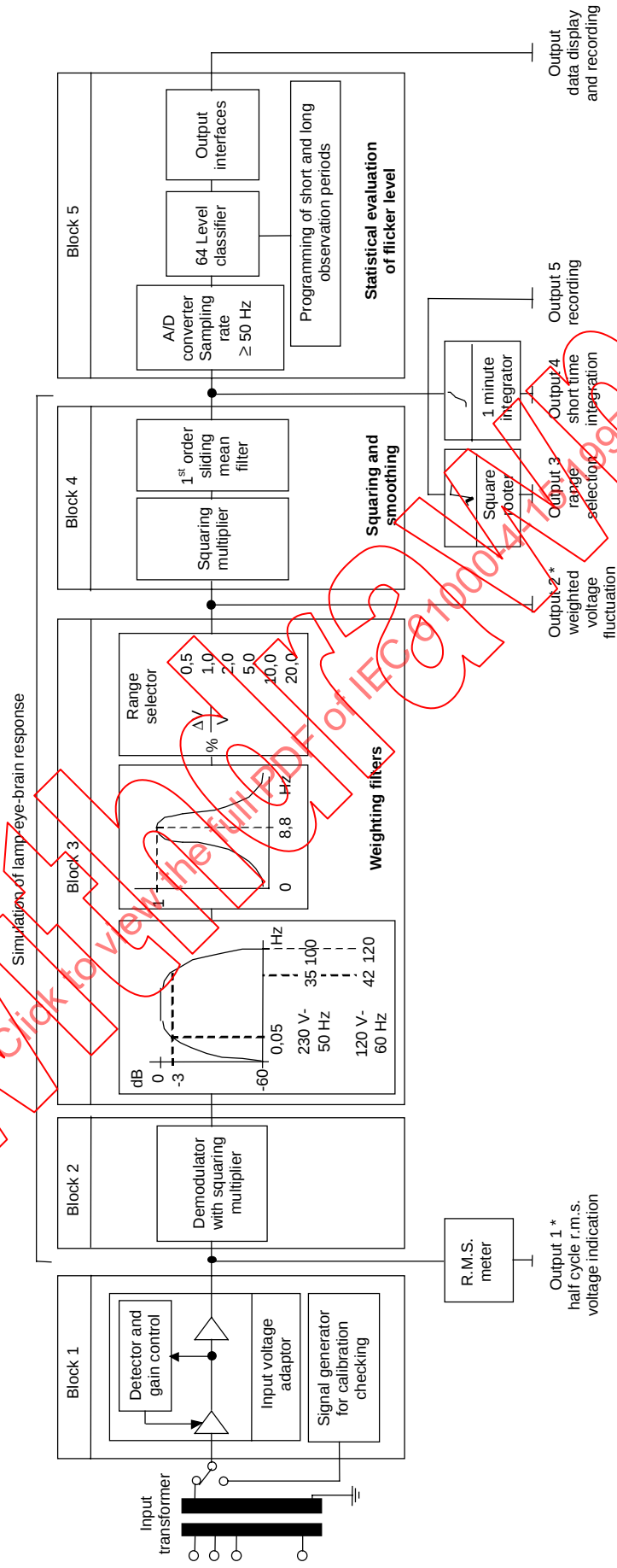


Figure 1 – Schéma fonctionnel du flickermètre de la CEI

* En option pour mesures complémentaires

Figure 1 – Functional diagram of UIE flickermeter

Replace the existing figure 1 by the following new figure:



* Optional for extended measuring applications

Figure 1 – Functional diagram of IEC flickermeter

Ajouter, après l'annexe A, la nouvelle annexe B suivante:

Annexe B (informative)

Signification de $\Delta V/V$ et du nombre de variations de tension

L'équation et la figure ci-dessous illustrent la signification de $\Delta V/V$ et du nombre de variations de tension pour cette norme.

Considérons une fonction temporelle modulée en amplitude $v(t)$ et une forme d'onde de fluctuation de tension $V(t)$. La forme d'onde de fluctuation de tension $V(t)$ est la fonction temporelle de la valeur efficace de $v(t)$. Les variations de la fonction temporelle $\Delta v/\bar{v}$ sont approximativement identiques aux variations des valeurs efficaces $\Delta V/V$.

Par exemple, une forme d'onde 50 Hz de tension moyenne de 1,0 avec une variation de tension relative $\Delta v/\bar{v}$ de 40 % et une modulation rectangulaire de 8,8 Hz peut s'écrire comme suit:

$$v(t) = 1 \times \sin(2 \times \pi \times 50 \times t) \times \left\{ 1 + \frac{40}{100} \times \frac{1}{2} \times \text{signum}[\sin(2 \times \pi \times 8,8 \times t)] \right\}$$

La figure B.1 montre la forme d'onde correspondante. Les variations de valeurs efficaces $\Delta V/V$ sont pratiquement égales aux variations de la fonction temporelle de $\Delta v/\bar{v}$ à hauteur de 40 %. Les variations de tension rectangulaire se produisent à la fréquence de 8,8 Hz. Chaque période complète génère deux variations de tension distinctes, l'une avec augmentation d'amplitude et l'autre avec diminution d'amplitude. Deux variations par période à la fréquence de 8,8 Hz produisent 17,6 variations par seconde.

Add, after Annex A, the following new Annex B:

Annex B (informative)

Meaning of $\Delta V/V$ and number of voltage changes

The following equation and figure illustrate the meaning of $\Delta V/V$ and number of voltage changes for this standard.

Consider an amplitude modulated time function $v(t)$ and a voltage fluctuation waveform $V(t)$. The voltage fluctuation waveform $V(t)$ is the time function of r.m.s values that arise from $v(t)$. The changes of the time function $\Delta v/\bar{v}$ are, in good approximation, equal the changes of the r.m.s. values $\Delta V/V$.

As an example, a 50 Hz waveform having a 1,0 average voltage with a relative voltage change $\Delta v/\bar{v}$ equal to 40 % and with 8,8 Hz rectangular modulation can be written as follows:

$$v(t) = 1 \times \sin(2 \times \pi \times 50 \times t) \times \left\{ 1 + \frac{40}{100} \times \frac{1}{2} \times \text{signum}[\sin(2 \times \pi \times 8,8 \times t)] \right\}$$

The corresponding waveform is shown in Figure B.1. The change in r.m.s. values $\Delta V/V$ are essentially equal to the 40 % $\Delta v/\bar{v}$ time function changes. The rectangular voltage changes occur at a frequency of 8,8 Hz. Each full period produces two distinct voltage changes, one with increasing magnitude and one with decreasing magnitude. Two changes per period with a frequency of 8,8 Hz give rise to 17,6 changes per second.