

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
60773**

Première édition
First edition
1983-01

**Méthodes d'essai et appareils pour la mesure
des propriétés opérationnelles des balais**

**Test methods and apparatus for the measurement
of the operational characteristics of brushes**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60773: 1983

Numéros des publications

Depuis le 1^{er} janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

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 dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement (Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

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 in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates (On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60773

Première édition
First edition
1983-01

**Méthodes d'essai et appareils pour la mesure
des propriétés opérationnelles des balais**

**Test methods and apparatus for the measurement
of the operational characteristics of brushes**

© IEC 1983 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.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

U

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
SECTION UN	
Articles	
1. Domaine d'application	6
2. Tableau des unités, symboles et définitions	6
SECTION DEUX	
3. Mesure de la chute de tension au contact	10
4. Mesure du coefficient de frottement	16
5. Mesure de l'usure d'un balai	22
6. Spécifications des équipements d'essai	24
7. Mode opératoire et conditions d'essai	36
8. Sources de courant pour les balais d'essai	40
ANNEXE A — Détermination de la formule du taux d'usure du balai	44
ANNEXE B — Mesure de la température des balais, des bagues d'essai et de l'humidité atmosphérique	48
ANNEXE C — Le dynamomètre comme autre machine d'essai pour la mesure du coefficient de frottement	54
ANNEXE D — Considérations sur les précisions probables et sur la reproductibilité des mesures	58

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5

SECTION ONE

Clause

1. Scope	7
2. Table of units, symbols and definitions	7

SECTION TWO

3. Measurement of contact drop voltage	11
4. Measurement of coefficient of friction	17
5. Measurement of brush wear	23
6. Specifications of test rigs	25
7. Test schedules and operating conditions	37
8. Current sources for test brushes	41
APPENDIX A — Determination of a formula for brush wear rate	45
APPENDIX B — Measurement of temperature of brushes, test rings and atmospheric humidity	49
APPENDIX C — The dynamometer as an alternative test machine for the measurement of the coefficient of friction	55
APPENDIX D — Discussion of probable accuracies and repeatability of such measurements	59

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MÉTHODES D'ESSAI ET APPAREILS POUR LA MESURE
DES PROPRIÉTÉS OPÉRATIONNELLES DES BALAIS

PRÉAMBULE

- 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.

PRÉFACE

La présente norme a été établie par le Sous-Comité 2F: Balais de charbon, porte-balais, collecteurs et bagues, du Comité d'Etudes n° 2 de la CEI: Machines tournantes.

Des projets furent discutés lors de la réunion tenue à Leningrad en 1979. A la suite de cette réunion, un projet, document 2F(Bureau Central)44, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en mars 1981.

Les Comités nationaux des pays ci-après se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

Afrique du Sud (République d')	France
Allemagne	Hongrie
Belgique	Israël
Canada	Italie
Chine	Japon
Corée (République de)	Pologne
Corée (République Démocratique Populaire de)	Roumanie
Egypte	Royaume-Uni
Espagne	Suède
Etats-Unis d'Amérique	Suisse
	Yougoslavie

Autres publications de la CEI citées dans la présente norme:

- Publications nos 50(131): Vocabulaire Electrotechnique International (VEI), Chapitre 131: Circuits électriques et magnétiques.
- 50(551): Chapitre 551: Electronique de puissance.
- 51: Recommandations pour les appareils de mesure électriques indicateurs à action directe et leurs accessoires.
- 136: Dimensions des balais et porte-balais pour machines électriques.
- 276: Définitions et nomenclature des balais de charbon, des porte-balais, des collecteurs et des bagues.
- 356: Dimensions des collecteurs et des bagues.
- 467: Méthodes d'essai pour la mesure des propriétés physiques des balais de charbon pour machines électriques.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

TEST METHODS AND APPARATUS FOR THE MEASUREMENT OF THE OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF BRUSHES

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.

PREFACE

This standard has been prepared by Sub-Committee 2F: Carbon Brushes, Brush-holders, Commutators and Slip-rings, of IEC Technical Committee No. 2: Rotating Machinery.

Drafts were discussed at the meeting held in Leningrad in 1979. As a result of this meeting, a draft, Document 2F(Central Office)44, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in March 1981.

The National Committees of the following countries voted explicitly in favour of publication:

Belgium	Korea (Democratic People's
Canada	Republic of)
China	Poland
Egypt	Romania
France	South Africa (Republic of)
Germany	Spain
Hungary	Sweden
Israel	Switzerland
Italy	United Kingdom
Japan	United States of America
Korea (Republic of)	Yugoslavia

Other IEC publications quoted in this standard:

Publications Nos. 50(131): International Electrotechnical Vocabulary (IEV), Chapter 131: Electric and Magnetic Circuits.

50(551): Chapter 551: Power Electronics.

51: Recommendations for Direct Acting Indicating Electrical Measuring Instruments and Their Accessories.

136: Dimensions of Brushes and Brush-holders for Electrical Machinery.

276: Definitions and Nomenclature for Carbon Brushes, Brush-holders, Commutators and Slip-rings.

356: Dimensions for Commutators and Slip-rings.

467: Test Procedures for Determining Physical Properties of Carbon Brushes for Electrical Machines.

MÉTHODES D'ESSAI ET APPAREILS POUR LA MESURE DES PROPRIÉTÉS OPÉRATIONNELLES DES BALAIS

SECTION UN

1. Domaine d'application

La présente norme s'applique aux méthodes d'essais et aux appareils pour la mesure des caractéristiques opérationnelles des balais appelés à fonctionner sur des machines avec commutation ou sur des machines à bagues, dans des conditions d'essai spécifiées.

Elle ne s'applique pas aux balais de moteurs à petite puissance et de machines automotrices.

2. Tableau des unités, symboles et définitions

2.1 Indices

Indices	Références	Exemples
+	Polarité positive	U_+
-	Polarité négative	U_-
~	Courant alternatif ou tension	$I_~$ ou $U_~$
B	Balai	J_B g_B
C	Collecteur ou bague	r_C
H	Porte-balai	r_H
r	Sens radial	F_r
t	Sens tangentiel	F_t
tot	Valeurs totales	U_{tot}
...	Valeurs moyennes	$\bar{W}$

2.2 Unités et symboles géométriques

Symboles	Désignations et définitions	Unités
l, l_{tot}	Longueur totale du chemin parcouru	m
l, b, r, d, t, a	Dimensions pour tous les dessins	mm
r_C	Rayon du collecteur ou de la bague	m mm
r_B	Rayon de la face frottante du balai	m mm
t, a, r	Dimensions du balai	mm
A	Surface	m ² mm ²
R_a	Rugosité de surface	μm
A_B	Surface du balai (face frottante)	m ² mm ²
V	Volume	m ³ mm ³
N_B	Nombre de balais	
k	Nombre de segments sous un balai	
τ	Pas de rainure	mm
h	Pas d'hélicage	mm
b	Largeur de rainure	m mm
r	Longueur du balai neuf	mm
r_t	Longueur du balai usé	mm
Δv	Volume usé du balai	mm ³
Δr	Longueur usée du balai ($r-r_t$)	mm
WR	Taux d'usure volumétrique V/l_{tot}	m ³ /m mm ³ /m
WR*	Taux d'usure linéaire $\Delta r/l_{tot}$	m/m mm/m

TEST METHODS AND APPARATUS FOR THE MEASUREMENT OF THE OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF BRUSHES

SECTION ONE

1. Scope

This standard applies to test methods and apparatus for the measurement of the operational characteristics of brushes designed to operate on commutating and slip-ring machines under specified test conditions.

It does not apply to brushes for small power machines and automotive machines.

2. Table of units, symbols and definitions

2.1 Subscripts

Subscript	Reference	Example
+	Positive polarity	U_+
-	Negative polarity	U_-
~	Alternating current or voltage	$I_~$ or $U_~$
B	Brush	J_B ϑ_B
C	Commutator or slip-ring	r_C
H	Brush-holder	r_H
r	Radial direction	F_r
t	Tangential direction	F_t
tot	Total values	U_{tot}
...	Mean values	$\bar{W}$

2.2 Geometrical units and symbols

Symbol	Name and definition	Unit
l, l_{tot}	Length, total sliding path	m
l, b, r, d, t, a	Dimensions in all drawings	mm
r_C	Radius of commutator or slip-ring	m mm
r_B	Radius of brush running surface	m mm
t, a, r	Dimensions of brush	mm
A	Area	m ² mm ²
R_a	Surface roughness	μm
A_B	Brush surface area (sliding face)	m ² mm ²
V	Volume	m ³ mm ³
N_B	Number of brushes	
k	Number of segments under a brush	
τ	Slot pitch	mm
h	Pitch of helical groove	mm
b	Slot width	m mm
r	Length of new brush	mm
r_l	Length of worn brush	mm
Δv	Brush volume worn away	mm ³
Δr	Brush length worn away ($r-r_l$)	mm
WR	Wear rate (volumetric) V/l_{tot}	m ³ /m mm ³ /m
WR*	Wear rate (linear) $\Delta r/l_{tot}$	m/m mm/m

2.3 Unités et symboles électriques

Symboles	Désignations et définitions	Unités
U_{tot}	Chute de tension totale par balai (de la cosse au collecteur ou à la bague)	V
U_{TOT}	Chute de tension totale $U_{\text{tot}+} + U_{\text{tot}-}$ ou $2 U_{\text{tot}~}$	V
U_S	Chute de tension dans le câble du balai	V mV
U_F	Chute de tension dans la connexion (du câble au balai)	V mV
U_B	Chute de tension dans le balai	V mV
U_C	Chute de tension au contact (du balai au collecteur ou à la bague)	V
I, I_B	Courant, courant dans le balai	A
J_B	Densité de courant dans le balai	$A \cdot m^{-2}$ $kA \cdot m^{-2}$
R	Résistance (en général)	Ω $m\Omega$ $k\Omega$
R_B	Résistance du balai	$m\Omega$
ρ_B	Résistivité du balai	$\Omega \cdot m$ $\mu\Omega \cdot m$
R_V	Résistance interne (caractéristique du voltmètre)	Ω/V

2.4 Unités et symboles mécaniques et physiques

Symboles	Désignations et définitions	Unités
F	Force (en général)	N
F_B	Force appliquée sur la tête du balai	N
F_r	Composante radiale d'une force	N
F_t	Composante tangentielle d'une force	N
F_μ	Force de frottement	N
m	Masse	kg
G	Poids	N
P_B	Pression du balai	kPa, $kN \cdot m^{-2}$
T	Couple	$N \cdot m$
P	Puissance (en général)	W
P_0	Puissance injectée avec balais d'essai levés	W
P_μ	Pertes dues au frottement	W
μ	Coefficient de frottement	
t	Temps	s, min, h
t_s	Temps de service (voir annexe A)	h
v	Vitesse	$m \cdot s^{-1}$
v_t	Vitesse circonférentielle (périphérique)	$m \cdot s^{-1}$
ω	Vitesse angulaire	$rad \cdot s^{-1}$
f	Fréquence	Hz
n	Vitesse de rotation	tr/min, min^{-1}
$\theta_{\text{amb}}, \vartheta_{\text{amb}}$	Température ambiante	$^{\circ}C$
θ, ϑ	Température	$^{\circ}C$
θ_B, ϑ_B	Température du balai	$^{\circ}C$
θ_C, ϑ_C	Température du collecteur ou de la bague	$^{\circ}C$
$\Delta\theta, \Delta\vartheta$	Echauffement	K
AH	Humidité absolue	$g \cdot m^{-3}$
RH	Humidité relative	%
HB	Dureté Brinell	
HR	Dureté Rockwell (pour balai: HR_B)	
HS	Dureté scléroscope	
HV	Dureté Vickers	
EG	Qualités de balais électrographitiques	
NG	Qualités de balais au graphite naturel	
BG	Qualités de balais au graphite aggloméré avec une résine synthétique	
HC	Qualités de balais amorphes	
CG	Qualités de balais carbographitiques	
MG	Qualités de balais métallographitiques et qualités de balais avec imprégnation métallique	

2.3 *Electrical units and symbols*

Symbol	Name and definition	Unit
U_{tot}	Total voltage drop per brush (from the terminal to commutator or slip-ring)	V
U_{TOT}	Total voltage drop $U_{\text{tot}+} + U_{\text{tot}-}$ or $2 U_{\text{tot~}}$	V
U_S	Voltage drop in brush flexible	V mV
U_F	Connection voltage drop (flexible to brush)	V mV
U_B	Voltage drop in the brush	V mV
U_C	Contact voltage drop (brush to commutator or slip-ring)	V
I, I_B	Current, brush current	A
J_B	Brush current density	$\text{A} \cdot \text{m}^{-2}$ $\text{kA} \cdot \text{m}^{-2}$
R	Resistance (generally)	Ω $\text{m}\Omega$ $\text{k}\Omega$
R_B	Brush resistance	$\text{m}\Omega$
ρ_B	Brush resistivity	$\Omega \cdot \text{m}$ $\mu\Omega \cdot \text{m}$
R_V	Internal resistance (characteristic of voltmeter)	Ω/V

2.4 *Mechanical and physical units and symbols*

Symbol	Name and definition	Unit
F	Force (generally)	N
F_B	Force applied to the top of the brush	N
F_r	Radial component of a force	N
F_t	Tangential component of a force	N
F_μ	Friction force	N
m	Mass	kg
G	Weight	N
P_B	Brush pressure	kPa, $\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$
T	Torque	$\text{N} \cdot \text{m}$
P	Power (generally)	W
P_0	Power input (test brushes lifted)	W
P_μ	Power loss due to friction	W
μ	Coefficient of friction	
t	Time	s, min, h
t_s	Service time (see Appendix A)	h
v	Velocity	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
v_t	Circumferential (peripheral) velocity	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
ω	Angular velocity	$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$
f	Frequency	Hz
n	Rotational speed	r.p.m. min^{-1}
$\theta_{\text{amb}}, \vartheta_{\text{amb}}$	Ambient temperature	$^{\circ}\text{C}$
θ, ϑ	Temperature	$^{\circ}\text{C}$
θ_B, ϑ_B	Brush temperature	$^{\circ}\text{C}$
θ_C, ϑ_C	Temperature of commutator or slip-ring	$^{\circ}\text{C}$
$\Delta\theta, \Delta\vartheta$	Temperature rise	K
AH	Absolute humidity	$\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$
RH	Relative humidity	%
HB	Brinell hardness	
HR	Rockwell hardness (for brushes: HR_B)	
HS	Scleroscope hardness	
HV	Vickers hardness	
EG	Electrographite brush grades	
NG	Natural graphite brush grades	
BG	Resin-bonded graphite brush grades	
HC	Hard carbon brush grades	
CG	Carbon-graphite brush grades	
MG	Metal-graphite and metal-impregnated brush grades	

SECTION DEUX

3. Mesure de la chute de tension au contact

- 3.1 La chute de tension totale de la cosse d'un balai à la bague ou au collecteur est une grandeur complexe qui correspond à la somme des chutes de tension montrées sur la figure 1. Ces chutes de tension ne sont pas toutes nécessairement ohmiques.

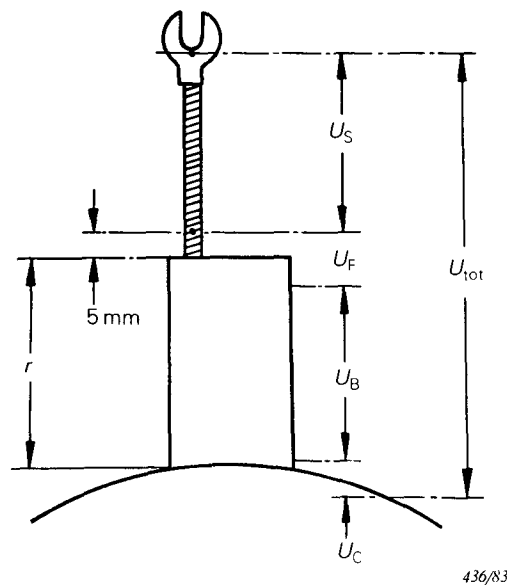


FIGURE 1

La codification de la figure 1 est tirée des références 905 à 909 de la Publication 276 de la CEI: Définitions et nomenclature des balais de charbon, des porte-balais, des collecteurs et des bagues.

- U_{tot} (référence 906) Chute de tension totale entre la cosse du balai et la bague ou le collecteur. U_{tot} est défini comme la somme de toutes les chutes de tension individuelles existant entre la cosse du balai et la bague ou le collecteur.
- U_S (référence 909) est la chute de tension dans le câble (shunt) et dans la connexion du câble à la cosse.
- U_F (référence 908) est la chute de tension dans la connexion. Cette mesure est définie dans la section un de la Publication 467 de la CEI: Méthodes d'essai pour la mesure des propriétés physiques des balais de charbon pour machines électriques.
- U_B (référence 907) est la chute de tension interne dans le balai.
- U_C (référence 905) est la chute de tension simple au contact.

SECTION TWO

3. Measurement of contact drop voltage

- 3.1 The total voltage drop from the brush terminal to the slip-ring or commutator is a complex parameter which is made up from the sum of the voltage drops shown in Figure 1. Some of these voltage drops are not necessarily ohmic.

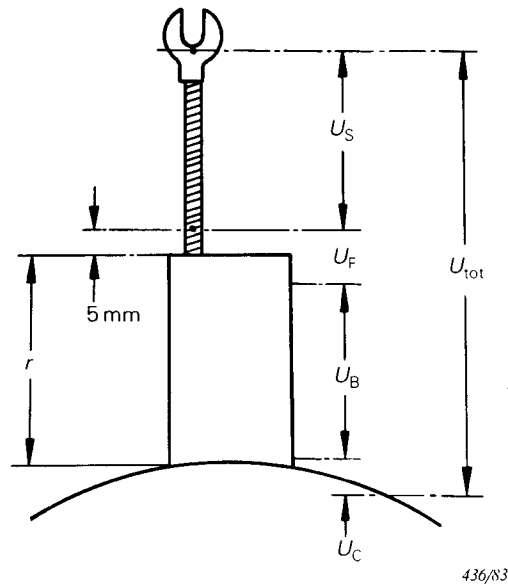


FIGURE 1

The coding for Figure 1 is taken from references 905 to 909 of IEC Publication 276: Definitions and Nomenclature for Carbon Brushes, Brush-holders, Commutators and Slip-rings.

U_{tot} (Reference 906) The total voltage drop between the brush terminal and the slip-ring or commutator. U_{tot} is defined as the sum of all the individual voltage drops existing between the brush terminal and the slip-ring or commutator.

U_S (Reference 909) is the voltage drop in the flexible (shunt) and in the flexible connection to the brush terminal.

U_F (Reference 908) is the connection drop. This measurement is defined in Section One of IEC Publication 467: Test Procedures for Determining Physical Properties of Carbon Brushes for Electrical Machines.

U_B (Reference 907) is the internal voltage drop of the brush

U_C (Reference 905) is the brush contact drop.

3.2 Chute de tension simple au contact (U_C)

La chute de tension simple au contact est une caractéristique de fonctionnement d'un balai; elle est normalement non ohmique et est influencée par des facteurs extérieurs ainsi que par les caractéristiques de la matière du balai.

3.2.1 Facteurs extérieurs

Ils comprennent, par exemple, la pression du balai, la densité de courant, la nature et l'état de surface de la bague ou du collecteur, l'humidité, la température, l'atmosphère, la vitesse périphérique, etc.

3.3 Lorsque les balais fonctionnent en courant continu, des différences de chute de tension simple au contact U_C sont généralement observées entre les balais d'entrée et de sortie.

3.3.1 Les termes balais «d'entrée» et «de sortie» sont définis dans les références 901 et 902 de la Publication 276 de la CEI, (voir figures 2 et 3).

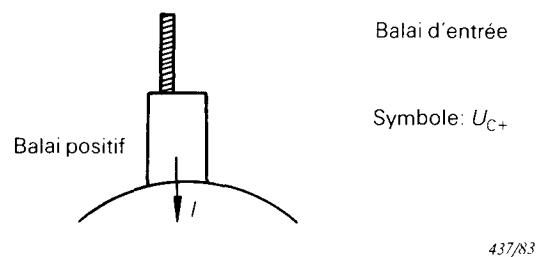


FIG. 2. - Collecteur (ou bague) négatif.

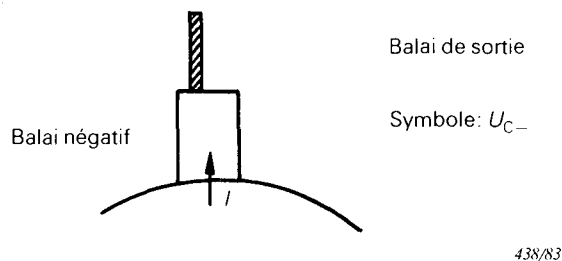


FIG. 3. - Collecteur (ou bague) positif.

3.3.2 Lorsque les balais fonctionnent en courant alternatif, ces différences entre les chutes de tension simples au contact n'existent pas. Le symbole pour la chute de tension simple au contact en courant alternatif doit être $U_{C\sim}$.

3.4 Mesure de la chute de tension au contact

3.4.1 Instruments pour mesurer la chute au contact en courant continu

Tout voltmètre à courant continu ayant une résistance interne d'au moins 1 000 Ω/V est convenable. Si un appareil à aiguille est utilisé, l'indication minimale ne doit pas se situer en dessous de 20% de l'échelle totale.

Un appareil dont la précision est de 2,5% (ou mieux) sera correct pour des mesures normales.

3.2 Brush contact drop (U_C)

The brush contact drop is an operating characteristic of a brush and is normally non-ohmic and is influenced by external factors as well as the brush material characteristics.

3.2.1 External factors

These include, for example, brush pressure, current density, the material and surface condition of the slip-ring or commutator, humidity, temperature, atmosphere, peripheral speed, etc.

3.3 When brushes carry direct current, a difference in contact drop voltage, U_C , may generally be observed between anodic and cathodic brushes and the slip-ring or commutator.

3.3.1 The terms “anodic” and “cathodic” brush are defined in References 901 and 902 of IEC Publication 276, (see Figures 2 and 3).

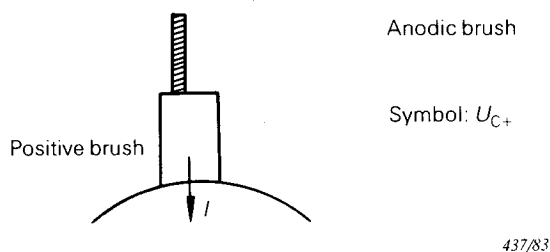


FIG. 2. - Commutator (or slip-ring) negative.

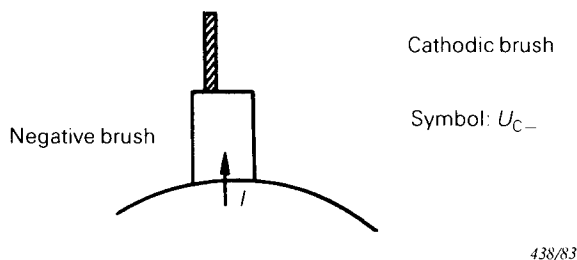


FIG. 3. - Commutator (or slip-ring) positive.

3.3.2 When brushes carry alternating current, these differences between contact drop voltages will not exist. The symbol for a.c. contact drop voltage shall be $U_{C\sim}$.

3.4 Measurement of contact drop voltage

3.4.1 Instruments for measuring d.c. contact drop voltage

Any d.c. voltmeter having an internal resistance of not less than $1\,000\ \Omega/V$ is suitable. If a pointer type instrument is used then the minimum indication shall be not less than 20% of full scale deflection.

For normal measurements, an instrument of 2.5% (or better) accuracy will be adequate.

3.4.2 En courant alternatif, la chute de tension simple au balai doit être mesurée avec un instrument capable de mesurer réellement la valeur efficace. De tels instruments sont:

- a) les appareils à thermocouple (voir paragraphe 2.2.10 de la Publication 51 de la CEI: Recommandations pour les appareils de mesure électriques indicateurs à action directe et leurs accessoires);
- b) les appareils électrodynamiques (voir paragraphe 2.2.5 de la Publication 51 de la CEI);
- c) tout voltmètre électronique capable de mesurer réellement la valeur efficace.

L'impédance de l'appareil et sa précision doivent être conformes aux spécifications du paragraphe 3.4.1 ci-dessus.

Note. — Les multimètres du type à redresseur ne sont pas recommandés.

3.4.3 La tension au contact doit être mesurée au moyen d'électrodes de contact appliquées l'une au balai, l'autre à la partie tournante.

L'électrode de prise de tension qui est appliquée sur la partie tournante doit être construite de telle manière que son influence sur la valeur de la tension mesurée soit négligeable.

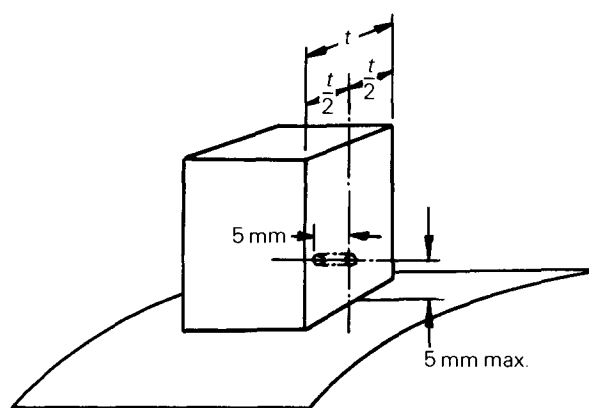
Il est possible de réaliser cette électrode de différentes manières. Par exemple:

- a) un petit balai métallographitique frottant sur la partie tournante en dehors de la (ou des) piste(s) du (ou des) balai(s);
- b) un « balai » fait de fils fins de cuivre (câble de balai) appliqué de la même manière que le balai métallographitique (voir point a) ci-dessus);
- c) un système de transmission au mercure.

Note. — Quel que soit le type d'électrodes utilisé, il est essentiel que le point d'application sur la partie tournante soit situé en dehors de la (ou des) piste(s) du (ou des) balai(s) d'essai.

Il est nécessaire que l'électrode de contact « balai » soit appliquée au balai de telle manière que son fonctionnement ne soit pas perturbé. L'électrode peut, par exemple, être fixée de manière permanente au balai ou au porte-balai de telle sorte que le contact soit établi avec le côté du balai ou puisse être appliqué à la main.

3.4.4 L'électrode de contact placée sur ou dans le balai ne doit pas se trouver à plus de 5 mm de la face frottante et être à la distance $\frac{t}{2}$ de l'arête du balai (voir figure 4).



439/83

FIGURE 4

Note. — Si, pour une matière dont la résistivité est élevée ($\rho \geq 100 \mu\Omega\text{m}$), une grande précision est demandée, une correction sur U_C doit être faite pour tenir compte de la chute de tension entre le point d'application de l'électrode et la face frottante.

3.4.2 A.C. contact drop voltage should be measured with an instrument capable of measuring true r.m.s. Such instruments are:

- a) thermocouple instruments (see Sub-clause 2.2.10 of IEC Publication 51: Recommendations for Direct Acting Indicating Electrical Measuring Instruments and Their Accessories);
- b) ironless electrodynamic instruments (see Sub-clause 2.2.5 of IEC Publication 51);
- c) any electronic instrument capable of measuring true r.m.s.

The internal impedance and accuracy shall be as specified in Sub-clause 3.4.1 above.

Note. — Rectifier type multimeters are not recommended.

3.4.3 The contact voltage shall be measured by means of contact probes; one connected to the brush and the other to the rotating part.

The voltage probe to be applied to the rotating part shall be so constructed that it will have negligible influence on the value of the measured voltage.

Various acceptable methods of making this probe are available, for example:

- a) a small metal-graphite brush running on the rotating part but clear of the test brush track(s).
- b) a “brush” made from fine copper wires (brush flexible) applied in the same way as the metal-graphite brush (see Item a) above);
- c) a mercury transmitting system.

Note. — Whichever type of probe electrode is used, it is essential that the point of application to the rotating part shall be clear of the test brush track(s).

The brush contact probe shall be applied to the brush so that no disturbance of the brush operation is caused. For example, the probe may be permanently attached to the brush or to the brush-holder in such a way that contact is made with the side of the brush, or may be applied by hand.

3.4.4 The location of the contact probe on or in the brush shall be at a point not more than 5 mm from the sliding contact surface and at a distance of $\frac{t}{2}$ (see Figure 4).

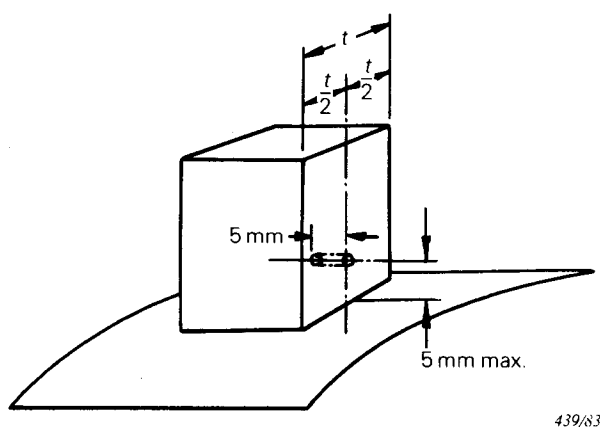


FIGURE 4

Note. — If great accuracy is required for high resistivity material, ($\rho \geq 100 \mu\Omega\text{m}$), a correction for U_C should be made to take account of the voltage drop between the probe location and the contact surface.

- 3.4.5 La chute de tension simple au contact peut être aussi calculée à partir de la chute de tension simple au balai, (voir référence 906 de la Publication 276 de la CEI et figure 1, page 10), par la formule suivante:

$$U_C = U_{\text{tot}} - (U_S + U_F + U_B)$$

La mesure de U_F est déterminée à l'aide de la méthode détaillée dans la section un de la Publication 467 de la CEI. Ou si, pour certaines raisons, deux balais sont utilisés, la chute de tension totale obtenue est:

$$U_{\text{TOT}} = U_{\text{tot}+} + U_{\text{tot}-}$$

- 3.4.6 Le même voltmètre et la même électrode de bague prévus pour mesurer U_C peuvent être utilisés pour la mesure de U_{tot} (chute de tension simple totale au balai), mais dans ce cas l'électrode balai doit être remplacée par une électrode pointue en acier inoxydable qui sera appliquée à la cosse du balai.

3.5 Mesure de $U_S + U_F + U_B$

- 3.5.1 Un millivoltmètre convenable (classe de précision 2,5% ou mieux) doit être utilisé pour cette mesure, la gamme de mesures étant choisie pour ne pas donner d'indication en dessous de 20% de l'échelle totale.

Le courant de mesure doit être le même que celui qui a été utilisé pour effectuer l'essai de chute de tension au contact et choisi à partir des gammes de courant données à l'article 7. L'effet de l'augmentation de température peut être négligé par suite des erreurs minimales qu'il occasionne.

- 3.5.2 Une des électrodes de tension doit être appliquée sur le corps du balai à 5 mm au-dessus de la face frottante comme spécifié au paragraphe 3.4.4. L'autre électrode pointue et en acier inoxydable doit être appliquée à la cosse du balai.

4. Mesure du coefficient de frottement

- 4.1 Le coefficient de frottement μ est une caractéristique de fonctionnement d'un balai qui est influencée par des facteurs extérieurs ainsi que par la matière du balai.

4.1.1 Facteurs extérieurs

Ils sont indiqués au paragraphe 3.2.1.

- 3.4.5 Alternatively, the brush contact drop may be calculated from the total single brush drop, (see Reference 906 of IEC Publication 276, and Figure 1, page 11), by the following formula:

$$U_C = U_{\text{tot}} - (U_S + U_F + U_B)$$

The measurement of U_F is determined by the method detailed in Section One of IEC Publication 467. If, for any reason, two brushes are used for the measurement the total contact drop is:

$$U_{\text{TOT}} = U_{\text{tot}+} + U_{\text{tot}-}$$

- 3.4.6 For the measurement of U_{tot} (total single brush drop) the same voltmeter and the same ring probe are used as for measuring U_C , but in this case the brush probe shall be replaced by a pointed stainless steel probe which is applied to the brush terminal.

3.5 *Measurement of $U_S + U_F + U_B$*

- 3.5.1 A suitable millivoltmeter (accuracy class 2.5% or better) shall be used for this measurement, the selected range to give an indication of not less than 20% full scale deflection.

The measuring current shall be the same as that used to conduct the contact drop test and selected from the range of currents given in Clause 7. In view of the negligible errors introduced the effect of temperature rise may be ignored.

- 3.5.2 One voltage probe is to be applied to the brush body 5 mm above the sliding surface as specified in Sub-clause 3.4.4. The other voltage probe, of pointed stainless steel, shall be applied to the brush terminal.

4. **Measurement of coefficient of friction**

- 4.1 The coefficient of friction μ is an operating characteristic of a brush influenced both by external factors and by brush material.

4.1.1 *External factors*

These are as indicated in Sub-clause 3.2.1.

4.2 Définition

Le coefficient de frottement μ est défini par la loi du frottement donnée par la formule:

$$\mu = \frac{F_t}{F_r} = \frac{F'_t}{F'_r}$$

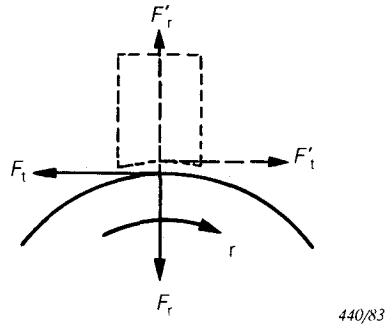


FIGURE 5

où: μ = coefficient de frottement

F_r, F'_r = composante radiale des forces agissant à l'interface

F_t, F'_t = composante tangentielle de la force due au frottement dans l'interface

Note. — Bien que les balais positif et négatif puissent présenter des différences de frottement, on mesure globalement le frottement moyen pour l'ensemble des deux balais.

4.3 Mesure du coefficient de frottement

Deux principaux systèmes sont habituellement utilisés pour mesurer le coefficient de frottement:

- a) mesure des forces tangentielles agissant sur la surface tournante (voir paragraphe 4.3.1);
- b) mesure des forces tangentielles agissant sur le balai (voir paragraphe 4.3.2).

4.3.1 Mesure des forces tangentielles agissant sur le balai en utilisant la méthode a)

Il y a diverses méthodes pour faire les calculs, mais elles dérivent toutes des principes de base suivants:

Symboles utilisés dans les équations qui suivent:

N_B = nombre de balais

F_t, F'_t = force tangentielle par balai (N)

F_r, F'_r = force radiale par balai (N)

r_C = rayon du collecteur ou de la bague (m)

T = couple (N · m)

P_μ = pertes dues au frottement (W)

P = puissance fournie quand les balais sont en contact avec le collecteur ou la bague (W)

4.2 Definition

The coefficient of friction μ is defined by the law of friction given by the formula:

$$\mu = \frac{F_t}{F_r} = \frac{F'_t}{F'_r}$$

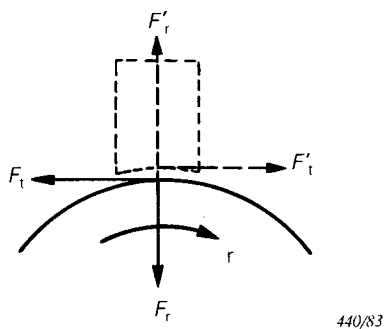


FIGURE 5

where: μ = coefficient of friction

F_r, F'_r = radial component of the forces acting at the interface

F_t, F'_t = tangential component of the forces acting at the interface

Note. — Although there may be differences in the coefficient of friction due to the anodic and cathodic brushes, these are generally added together and only the average friction due to both brushes is measured.

4.3 Measurement of coefficient of friction

There are two main systems by which the coefficient of friction is usually measured:

- a) measurement of the tangential forces acting on the rotating surface (see Sub-clause 4.3.1);
- b) measurement of the tangential forces acting on the brush (see Sub-clause 4.3.2).

4.3.1 Measurement of the tangential forces acting at the brush using method a)

There are various methods of making these calculations but they all derive from the following basic concepts:

Symbols used in the equations which follow:

N_B = number of brushes

F_t, F'_t = tangential force per brush (N)

F_r, F'_r = radial force per brush (N)

r_C = radius of commutator or slip-ring (m)

T = torque (N · m)

P_μ = power loss due to friction (W)

P = power input when the brushes are in contact with the commutator or slip-ring (W)

P_0 = power input when the brushes are not in contact with (are not rubbing on) the commutator or slip-ring (W)

ω = angular velocity (rad/s)

$$\mu = \frac{F_t}{F_r} \quad (1)$$

$$T = N_B \cdot F_t \cdot r_C \quad (2)$$

$$P = T \cdot \omega \quad (3)$$

$$P_\mu = P - P_0 \quad (4)$$

$$\mu = \frac{P - P_0}{N_B \cdot F_t \cdot \omega \cdot r_C} \quad (5)$$

The following simplified sketch should clarify the method of measuring the coefficient of friction, using method a).

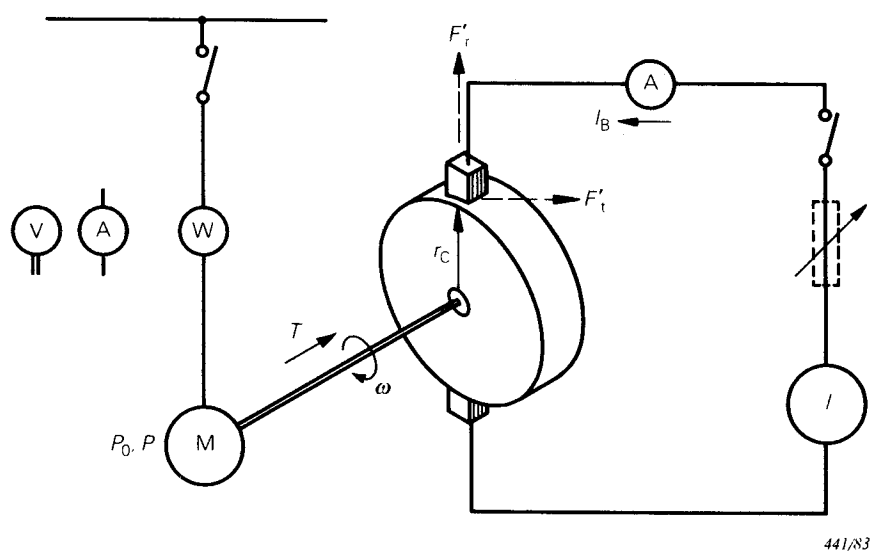


FIGURE 6

From equation (4):

Measure P after stable running conditions have been achieved and then, at the same angular velocity, measure P_0 , using a wattmeter or voltmeter/ammeter.

All measurements shall be made with instruments having accuracies of 2.5% or better.

Note. — For results demanding higher accuracies, inherent driving motor losses should be taken into account when calculating the coefficient of friction.

4.3.2 Mesure des forces tangentielles agissant sur le balai en utilisant la méthode b)

De nombreux systèmes mécaniques convenables peuvent être employés pour effectuer cette mesure et tous sont acceptables pourvu que les instruments utilisés aient une précision de 2,5% ou mieux (voir annexe C).

4.3.3 Quel que soit le système utilisé, il ne doit occasionner que des perturbations négligeables de la stabilité mécanique et des performances électriques des balais.

5. Mesure de l'usure d'un balai

5.1 Usure du balai

5.1.1 L'usure du balai WR est une caractéristique de la matière du balai qui dépend des conditions de fonctionnement électriques et mécaniques et des conditions extérieures.

5.1.2 Le taux d'usure du balai est donné par la formule suivante:

$$\overline{WR} = \frac{\overline{\Delta r} \cdot A}{l_{\text{tot}}}$$

(Le calcul à partir duquel cette formule est obtenue est donné dans l'annexe A.)

où: A = section droite du balai (m²)

$\overline{WR}$ = taux d'usure moyen en volume (m³/m)

$\overline{\Delta r}$ = moyenne des Δr mesurés en différents points de la surface du balai (m)

l_{tot} = distance parcourue par la piste sous le balai (m)

Si la section droite du balai est considérée comme constante, la formule donnée ci-dessus devient la formule suivante:

$$\text{taux d'usure moyen linéaire } \overline{WR}^* = \frac{\overline{\Delta r}}{l_{\text{tot}}} \quad (\text{m/m})$$

où $\overline{WR}^*$ est le taux d'usure moyen linéaire du balai.

Le taux d'usure linéaire du balai est la méthode la plus pratique pour exprimer le taux d'usure du balai.

5.1.3 Les unités dans lesquelles l'usure peut être exprimée dépendent largement du genre d'application des balais.

5.1.4 La vitesse (le taux) d'usure du balai est couramment exprimée à l'aide des unités suivantes:

- mm/1 000 h (mm d'usure du balai/1 000 h de fonctionnement);
- mm/Mm (mm d'usure du balai/Mm de parcours).

Réciproquement, la durée d'un balai est exprimée à l'aide des unités suivantes:

- h/mm (heures de fonctionnement/millimètres d'usure du balai);
- miles/in (parcours en miles/inches d'usure du balai).

Notes 1. — Quelle que soit la durée de l'essai, le résultat est normalement exprimé dans les unités ci-dessus.

2. — Ces essais ne s'appliquent pas à l'essai individuel de série des machines.

4.3.2 *Measurement of tangential forces acting at the brush, using method b)*

There are many suitable mechanical systems which may be used for making this measurement and all should be acceptable provided the instruments used have inherent accuracies of 2.5% or better (see Appendix C).

4.3.3 Whichever system is used, it shall have negligible effect on the mechanical stability and electrical performance of the brush.

5. Measurement of brush wear

5.1 *Brush wear*

5.1.1 Brush wear WR is a characteristic of brush material which is affected by electrical, mechanical and external conditions.

5.1.2 Brush wear rate is given by the following formula:

$$\overline{WR} = \frac{\overline{\Delta r} \cdot A}{l_{\text{tot}}}$$

(The calculation from which this formula is derived is given in Appendix A.)

where: A = brush cross-sectional area (m²)

$\overline{WR}$ = mean wear rate (volumetric) (m³/m)

$\overline{\Delta r}$ = mean Δr measured at different points on the brush surface (m)

l_{tot} = distance travelled by the track under the brush. (m)

If the cross-section of the brush is considered to be constant, then the formula given above becomes the following:

$$\text{mean wear rate (linear)} \quad \overline{WR}^* = \frac{\overline{\Delta r}}{l_{\text{tot}}} \quad (\text{m/m})$$

where $\overline{WR}^*$ is the mean linear wear rate of the brush.

The linear wear rate is the most practical method for expressing brush wear rate.

5.1.3 The units in which brush wear may be expressed will largely be governed by the nature of the brush application.

5.1.4 The brush wear velocity (wear rate) is commonly expressed by the following units:

- mm/1 000 h (mm of brush wear/1 000 working h);
- mm/Mm (mm of brush wear/track Mm).

Conversely, brush life is usually expressed in the units:

- h/mm (working hours/millimetres brush wear);
- miles/in (track miles/inches of brush wear).

Notes 1. — Whatever the time of testing, the result should be expressed in the above units.

2. — This test does not apply to routine testing of the machines.

5.2 Mesure de l'usure d'un balai

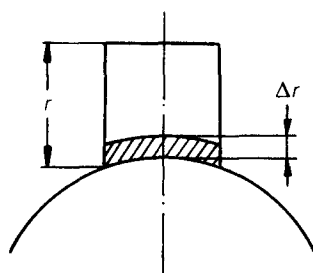
5.2.1 Les mesures initiales et finales de la longueur du balai doivent être effectuées exactement au même endroit du balai sur une ligne parallèle à son axe «*r*» et en utilisant, si possible, le même instrument de mesure ou, à la rigueur, un instrument de même précision (voir figures 7 et 8).

5.2.2 Le choix de l'instrument utilisé pour effectuer ces mesures: micromètre, pied à coulisse ou comparateur, dépendra largement de l'importance de l'usure susceptible de se produire.

L'instrument utilisé doit permettre une précision de mesure de l'usure de $\pm 2,5\%$ ou mieux.

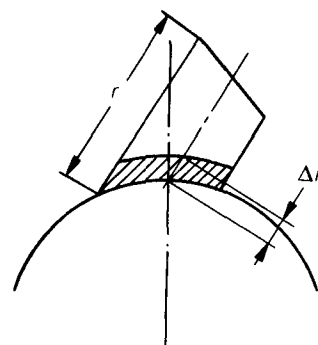
5.2.3 Pour mesurer des balais de forme compliquée, un étau convenable, monté avec le micromètre, peut être prévu de manière que le balai à mesurer soit fixé et positionné correctement.

De plus, la forme des touches du micromètre doit être choisie en fonction du profil du balai à mesurer.



442/83

FIGURE 7



443/83

FIGURE 8

6. Spécifications des équipements d'essai

6.1 Généralités

6.1.1 Il est possible qu'un équipement d'essai unique ne puisse être adapté à tous les cas d'application requis; il s'ensuit donc que plusieurs équipements d'essai sont nécessaires. Ces équipements d'essai doivent être construits de manière que les paramètres de fonctionnement des balais relatifs aux grandeurs à mesurer (voir articles 3, 4 et 5), puissent être obtenus aisément et avec précision.

6.1.2 Il convient aussi de tenir compte du fait que les valeurs absolues obtenues avec ces équipements différeront de celles qui sont obtenues sur des machines «réelles» par suite des nombreuses variables existantes et du fait que les équipements d'essai sont «sans commutation». De plus, pour les raisons énoncées ci-dessus et par suite de conditions d'ambiance différentes, des résultats identiques ne sont pas toujours obtenus à l'aide d'équipements d'essai de forme et de construction similaires.

5.2 Measurement of brush wear

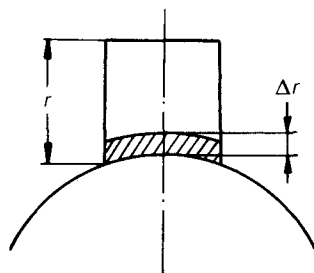
5.2.1 The initial and final measurements of brush length should be made at precisely the same position on the brush or a line parallel to the “*r*” axis using, if possible, the same measuring instrument, or otherwise an instrument of the same accuracy (see Figures 7 and 8).

5.2.2 The choice of instrument, micrometer, vernier caliper or depth gauge, used to make the measurement will largely depend on the amount of wear which has occurred.

The instrument used shall enable the wear to be measured to $\pm 2.5\%$ or better.

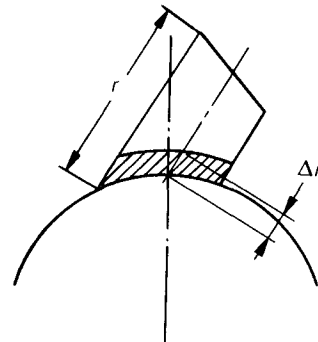
5.2.3 To measure brushes of difficult shape, a suitable jig to fit in the micrometer could be constructed to ensure positive location of the brush to be measured.

Furthermore, the choice of micrometer anvil shape depends on the profile of the shape to be measured.



442/83

FIGURE 7



443/83

FIGURE 8

6. Specifications of test rigs

6.1 General

6.1.1 It is possible that no single test rig can accommodate all the required application parameters; it therefore follows that more than one type of test rig would be required. These test rigs shall be so constructed that, relative to the quantities to be measured (see Clauses 3, 4 and 5), the required brush operating parameters may be easily and accurately obtainable.

6.1.2 It should be appreciated that, because of the many variables involved and the fact that this equipment is “non-commutating”, absolute values obtained from such test machines will differ from those obtainable from “real” machines. Moreover, for the above reasons and because of differing ambient conditions, identical results may not be obtainable from test rigs of similar design and construction.

6.2 Equipements d'essai pour balais utilisés sur machines avec commutation

6.2.1 Bagues d'essai

Pour les raisons énoncées au paragraphe 6.1, il n'est pas possible de fournir des spécifications pour une machine d'essai normale unique, mais les machines construites d'après les bases données ci-dessous doivent normalement fournir des résultats satisfaisants.

6.2.1.1 Matière des bagues d'essai

La bague d'essai doit être en cuivre, comme spécifié dans le tableau I de la Publication 356 de la CEI: Dimensions des collecteurs et des bagues, et doit avoir une dureté de HV 85 à HV 110 (échelle Vickers, diamant pyramidal) ou HB 80 à HB 105 (échelle de dureté Brinell, bille d'acier).

6.2.1.2 Dimensions des bagues d'essai

Le diamètre de la bague d'essai doit être égal à 200 mm au moins ou à 300 mm au plus. Les rainures axiales, également espacées sur la surface de la bague, doivent être fraisées à un pas de rainure τ de 5,0 mm à 7,5 mm.

La relation entre la dimension tangentielle t du balai et le nombre de lames recouvertes par le balai pour éliminer les risques de résonance mécanique doit être:

$$k\tau \neq q \text{ (voir figure 9a)}$$

où k est un nombre entier égal à 2, 3 ou 4 et q un nombre variable tel que $t - b \leq q \leq t + b$

où t = épaisseur du balai

b = largeur de la rainure

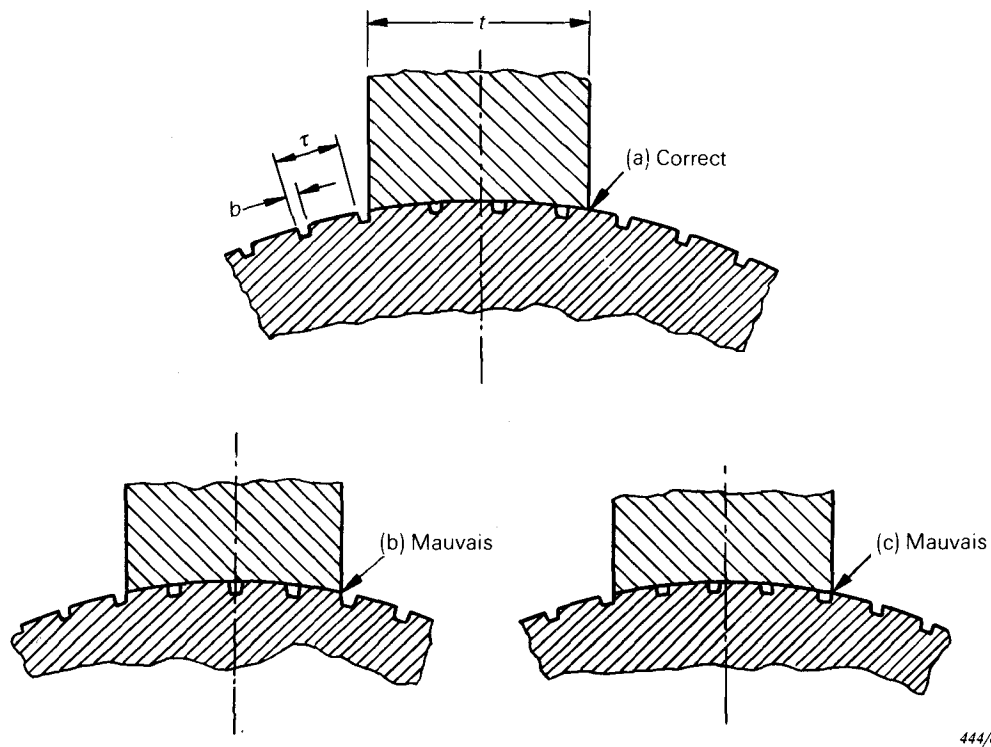


FIGURE 9

444/83

6.2 Test rigs for brushes used on commutating machines

6.2.1 Test rings

For the reasons given in Sub-clause 6.1, it is not possible, to specify a single "standard" test machine, but machines constructed within the framework given below should be capable of producing satisfactory results.

6.2.1.1 Material for test rings

The test ring shall be constructed of copper as specified in Table I of IEC Publication 356: Dimensions for Commutators and Slip-rings, and should have a hardness of HV 85 to HV 110 (Vickers diamond pyramid scale) or HB 80 to HB 105 on the Brinell (steel ball) scale of hardness.

6.2.1.2 Dimensions of test rings

The diameter of the test ring shall be not less than 200 mm or more than 300 mm. Axial slots, evenly spaced on the surface of the ring shall be cut to give a slot pitch τ of 5.0 mm to 7.5 mm.

The relationship between the tangential dimension t of the brush and the number of segments spanned by the brush to eliminate the risk of mechanical resonance shall be:

$k\tau \neq q$ (see Figure 9a)

where k is a whole number equal to 2, 3 or 4 and q is a variable number such that $t - b \leq q \leq t + b$

where t = brush thickness

b = slot width

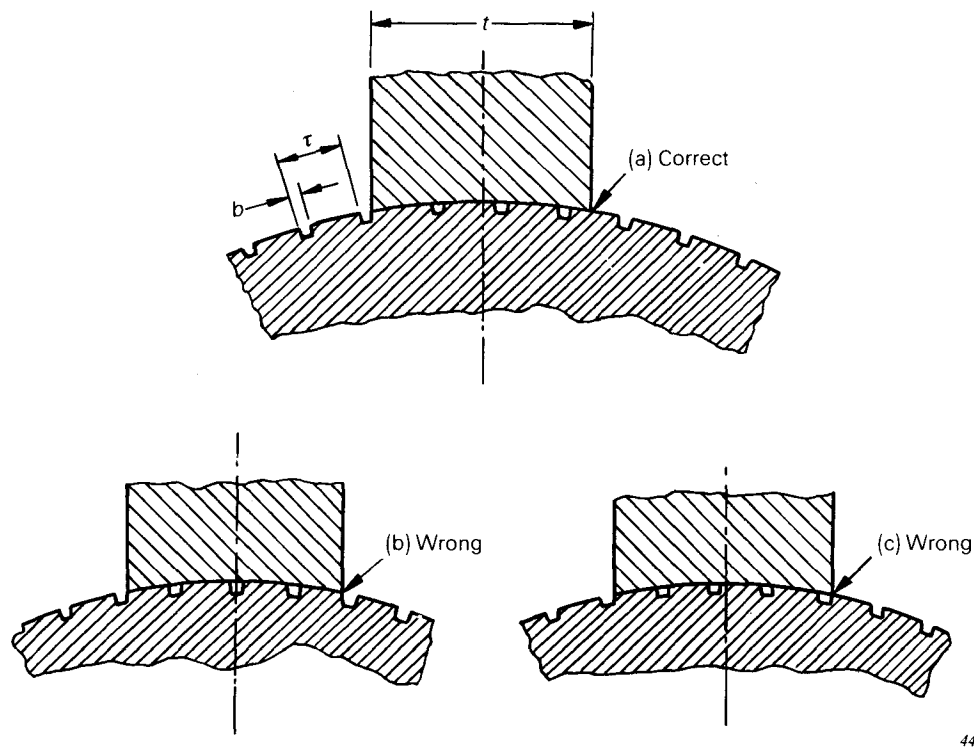


FIGURE 9

444/83

La largeur b des rainures doit être comprise entre 0,8 mm et 1 mm et leur profondeur entre 1 mm et 3 mm.

La longueur axiale de la bague rainurée doit être égale à la dimension a du balai en essai, plus 6 mm au moins.

6.2.1.3 Préparation de la bague d'essai

- 6.2.1.3 a) Chaque segment doit avoir le même rayon que celui de la bague entière.

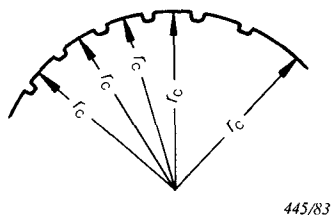


FIGURE 10

- 6.2.1.3 b) Les déformations géométriques et le faux-rond ne doivent pas, quand la bague tourne lentement dans ses propres paliers, donner lieu à une déviation du comparateur supérieure à 0,01 mm. En outre, aucune vibration notable ne doit se produire à la vitesse de fonctionnement à cause d'un déséquilibre. Les essais doivent être effectués à une vitesse différente de la vitesse critique.
- 6.2.1.3 c) Cette précision doit être obtenue si la bague est tournée avec un outil en diamant ou en carbure de tungstène de forme correcte, à une vitesse aussi proche que possible de la vitesse d'essai la plus élevée, la bague étant montée dans ses propres paliers. Avant l'essai, les arêtes des rainures doivent être ébavurées et les copeaux enlevés des rainures. Durant cette opération de nettoyage, on doit enlever un minimum de métal afin d'éviter la formation de biseaux à l'arête des lames.
- 6.2.1.3 d) L'emploi d'un papier abrasif ou d'une toile abrasive pour éliminer les traces d'outil et/ou une surface trop polie doit être limité afin d'éviter un «bombé» des lames.

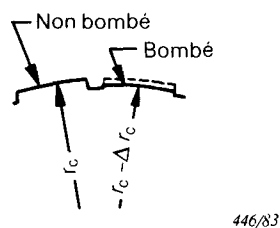


FIGURE 11

The width b of the slots shall be between 0.8 mm and 1 mm and their depth between 1 mm and 3 mm.

The axial length of the slotted ring shall be equal to the a dimension of the test brush, plus at least 6 mm.

6.2.1.3 Preparation of the test ring

- 6.2.1.3 a) Each segment shall have the same radius as that of the whole ring.

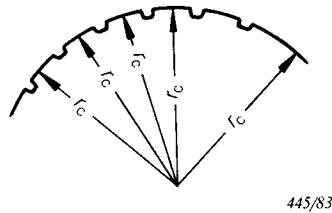


FIGURE 10

- 6.2.1.3 b) The geometrical deformation of the ring and the run-out when rotating slowly in its own bearings shall not produce a depth gauge deflection of greater than 0.01 mm. Furthermore, at operating speed there shall be no significant vibration due to unbalance. The tests shall be carried out at a speed other than the critical speed.
- 6.2.1.3 c) This order of accuracy shall be achieved if the ring is turned with a diamond or correctly shaped tungsten carbide tipped tool at a speed as near as possible to the highest test velocity, the ring being mounted in its own bearings. All "burrs" and swarf shall be removed from the slots and slot edges before the test; the minimum amount of metal only shall be removed during this cleaning process in order to prevent the formation of bevels on the slot edges.
- 6.2.1.3 d) The use of abrasive paper or cloth to remove tool marks and/or a very high surface polish shall be limited in order to avoid "doming" the segments.

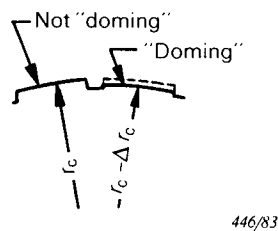
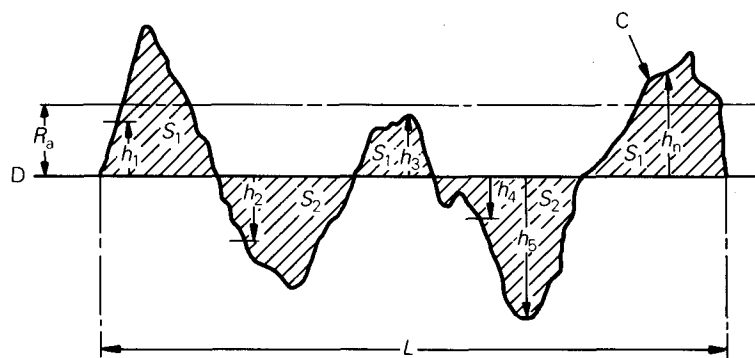


FIGURE 11

6.2.1.3 e) Le degré de rugosité R_a doit se situer entre les limites $0,8 \mu\text{m} \leq R_a \leq 1,2 \mu\text{m}$.



447/83

FIGURE 12

La courbe C représente le profil d'une surface rugueuse de longueur L.

D = ligne moyenne, telle que $\sum S_1 = \sum S_2$

R_a = moyenne arithmétique des écarts entre C et D et est la hauteur moyenne de h obtenue à partir des hauteurs $h_1, h_2, h_3 \dots h_n$ prises toujours avec le signe +.

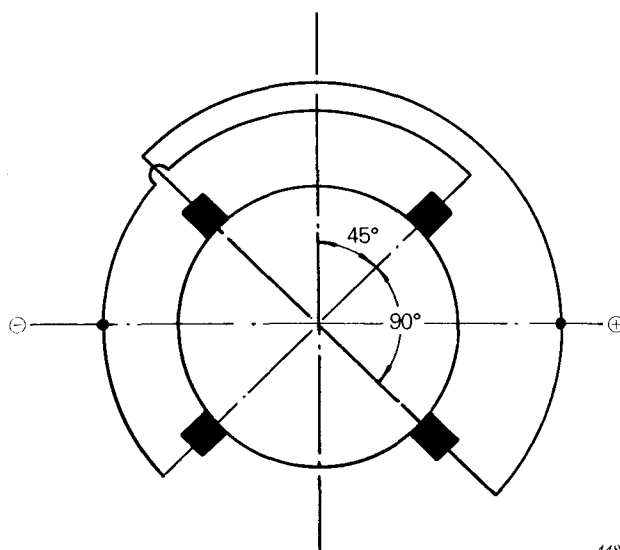
$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |h| dL \approx \frac{|h_1| + |h_2| + \dots + |h_n|}{n}$$

Ce degré de rugosité peut être directement obtenu après une légère application, sur la surface de la bague, d'une pierre à collecteur convenable de bonne qualité.

6.2.2 Balais

6.2.2.1 On doit utiliser, de préférence, quatre balais également espacés autour de la bague d'essai comme l'indique la figure 13 ci-dessous.

La polarité des balais doit être alternée.



448/83

FIGURE 13

6.2.1.3 e) The degree of roughness R_a should lie between the limits $0.8 \mu\text{m} \leq R_a \leq 1.2 \mu\text{m}$.

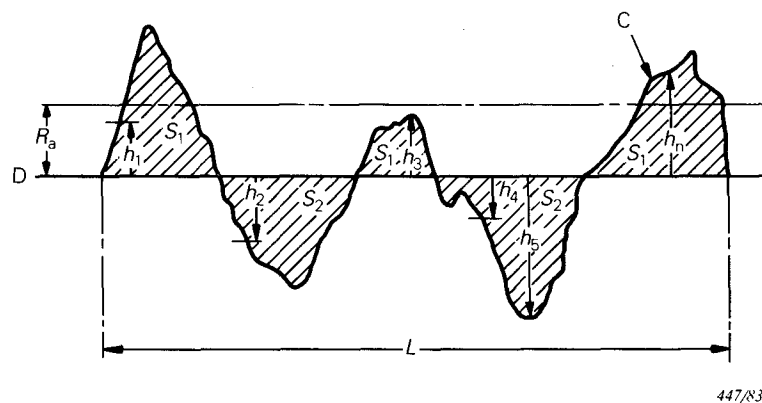


FIGURE 12

The curve C represents the profile of a surface roughness over the length L .

D = mean line such that $\sum S_1 = \sum S_2$

R_a = arithmetic mean of the curves between C and D and is the mean height of h obtained from the heights $h_1, h_2, h_3 \dots h_n$ always taken with the sign +.

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |h| \, dL \approx \frac{|h_1| + |h_2| + \dots + |h_n|}{n}$$

This degree of roughness may be readily obtained by a light application of a suitable fine grade of commutator dressing stone to the ring surface.

6.2.2 Brushes

6.2.2.1 Preferably, four brushes equally spaced around the test ring shall be used, as indicated in Figure 13 below.

The brushes shall be of alternate polarity.

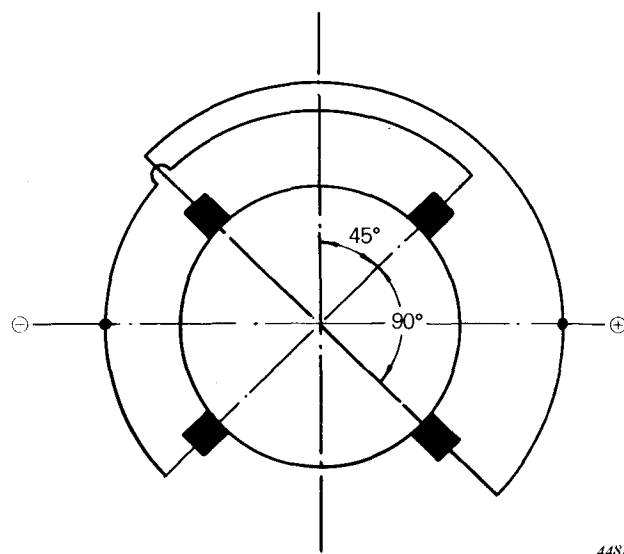


FIGURE 13

Si, pour une raison quelconque, l'essai doit être effectué avec deux balais seulement, l'écart angulaire de ces balais doit être de 90° ou de 180°.

Si l'axe de la bague est horizontal, les balais doivent être disposés comme indiqué sur la figure 13, page 30. La disposition des balais devient moins critique si l'axe de la bague est vertical.

6.2.2.2 Dimensions des balais d'essai

Dimension	Qualités de balais (voir paragraphe 2.4)		
	EG-NG-MG	BG	CG-HC
t	12,5, 16, 20	10, 12,5	10, 12,5, 16
a	25	25	25
r	40	40	40

Note. — Toutes les dimensions sont exprimées en millimètres. Tolérances conformes à la Publication 136 de la CEI: Dimensions des balais et porte-balais pour machines électriques.

Les balais doivent être réalisés avec un angle d'inclinaison égal à 7,5° (position traînante), afin d'améliorer leur stabilité mécanique.

6.2.3 Porte-balais d'essai

6.2.3.1 Les porte-balais doivent être de construction sérieuse, fixés rigidement à la machine pour qu'ils soient exempts de vibrations dans les conditions de fonctionnement les plus difficiles et d'une conception telles que la stabilité du contact balai d'essai - bague d'essai ne soit pas influencée.

6.2.3.2 Les dimensions a et t du porte-balais traînant doivent correspondre à celles des balais indiquées au paragraphe 6.2.2.2.

La dimension r_H du porte-balais ne doit pas être inférieure à 0,75 r (r = dimension du balai neuf).

6.2.3.3 Le porte-balais doit être tel que la force s'applique suivant la direction radiale r d'un balai dont l'angle du biseau supérieur est nul, et la pression requise doit être dans une tolérance de $\pm 5\%$. Le système utilisé pour produire la pression appliquée au balai doit permettre un réglage fin.

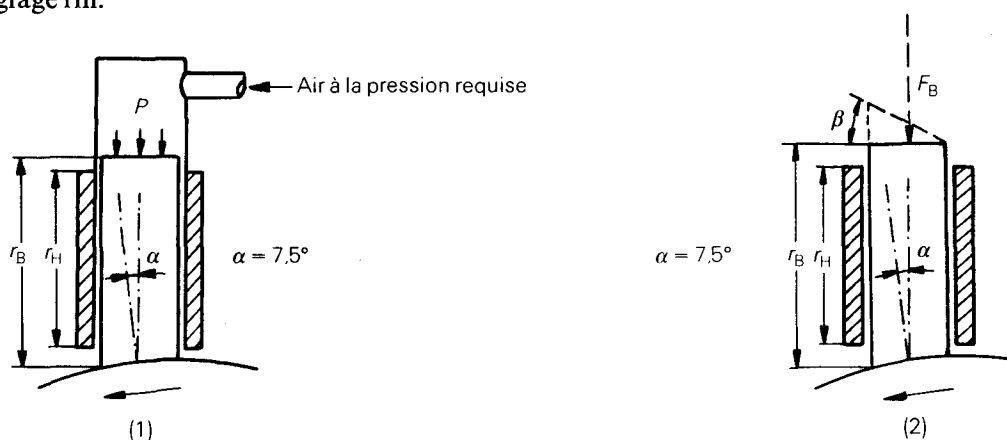


FIGURE 14

449/83

If, for any reason, it is necessary to operate with two brushes only, then the angular spacing between them should be 90° or 180°.

If the axis of the ring is horizontal, the brush location shall be as indicated on Figure 13, page 31. The positioning of the brushes becomes less critical if the axis of the ring is vertical.

6.2.2.2 Dimensions of test brushes

Dimension	Brush grade (see Sub-clause 2.4)		
	EG-NG-MG	BG	CG-HC
<i>t</i>	12.5, 16, 20	10, 12.5	10, 12.5, 16
<i>a</i>	25	25	25
<i>r</i>	40	40	40

Note. — All dimensions are in millimetres. Tolerances to IEC Publication 136: Dimensions of Brushes and Brush-holders for Electrical Machinery.

The brushes shall be made with a 7.5° bevel angle (trailing attitude) to improve the mechanical stability.

6.2.3 Test brush holders

6.2.3.1 Brush holders shall be substantially constructed and rigidly affixed to the machine so that they are free from vibration under the most adverse conditions, and of such design that they will not influence the stability of contact between test brush and test ring.

6.2.3.2 The dimensions *a* and *t* of the trailing brush holder shall be suitable for brushes as indicated in Sub-clause 6.2.2.2.

The *r_H* dimension of the brush holder shall be not less than 0.75 *r* (*r* = dimension of a new brush).

6.2.3.3 The brush holders shall be such that the force is applied in the radial direction *r* of a brush with zero top bevel; and the required pressure shall be to a tolerance of ±5%. The system used for obtaining the required brush pressure shall be capable of fine adjustment.

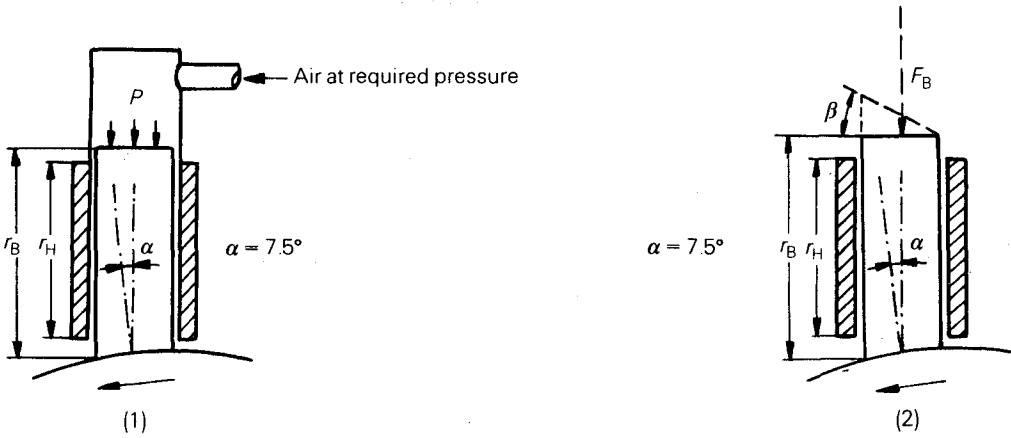


FIGURE 14

449/83

Si le système (1) est utilisé, l'alimentation d'air doit être absolument exempte d'eau et (ou) d'huile. Si, pour obtenir un fonctionnement satisfaisant, une plus grande stabilité mécanique des balais apparaît nécessaire, on peut les prévoir avec un biseau supérieur dont l'angle β ne doit pas être supérieur à $22,5^\circ$. Dans ce cas aussi, la force réelle sur le balai doit être mesurée suivant l'axe r du balai.

6.3 Equipements d'essais pour balais utilisés sur machines sans commutation ou «à bagues»

6.3.1 Ces bagues peuvent être réalisées en bronze, en cuivre ou en acier. L'utilisation d'alliages contenant du zinc, du chrome, de l'aluminium, du plomb, du silicium, etc. peut donner lieu à un mauvais fonctionnement des balais et doit être évitée dans la mesure du possible. Avec les résultats de l'essai, il convient de déclarer les caractéristiques mécaniques des bagues.

6.3.1.2 Dimension des bagues d'essais

6.3.1.2 a) Ces bagues ne doivent pas avoir un diamètre inférieur à 200 mm ni supérieur à 300 mm et peuvent être lisses ou hélicées. Si elles sont hélicées, la réalisation suivante doit être utilisée:

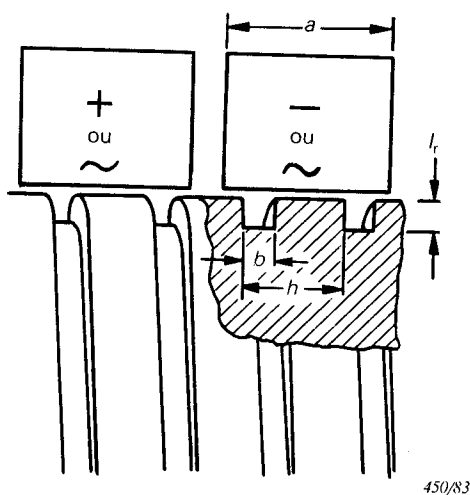


FIGURE 15

6.3.1.2 b) L'hélicage doit être à un seul filet. La profondeur de la rainure l_r doit être de 4 mm à 5 mm et ne pas descendre en dessous de 1,5 mm.

6.3.1.2 c) Pour un balai dont la dimension a est de 25 mm, h doit être égal à 12,5 mm afin d'éviter les pulsations de la pression du balai.

La largeur de la rainure b doit être comprise entre $\frac{h}{3}$ et $\frac{h}{4}$.

Note. — Les balais dont la dimension t est plus grande que la dimension a sont souhaitables sur les moteurs asynchrones à bagues. Afin que ces essais soient comparatifs et afin de conserver l'appareillage d'essai normalisé, il est proposé d'utiliser les mêmes porte-balais que ceux qui sont recommandés pour les machines à collecteur, de préférence ceux dont la dimension t est la plus grande.

If system (1) is adopted, the air supply shall be substantially free from water and/or oil. If greater mechanical stability is required for satisfactory brush operation, a top bevel angle β of not more than 22.5° may be employed. In this case, also, the true brush force shall be measured along the r axis of the brush.

6.3 Test rigs for brushes used on non-commutating or "slip-ring" machines

6.3.1 These rings may be manufactured of bronze, copper or steel. The use of alloys containing zinc, silicon, lead, aluminium, chromium, etc. may cause inferior brush operation, and shall be avoided where possible. Together with the test results, the mechanical characteristics of the ring should be stated.

6.3.1.2 Dimensions of test slip-rings

6.3.1.2 a) These rings shall be not less than 200 mm or more than 300 mm diameter and may be plain or helically grooved. If helically grooved, the following configuration shall be used:

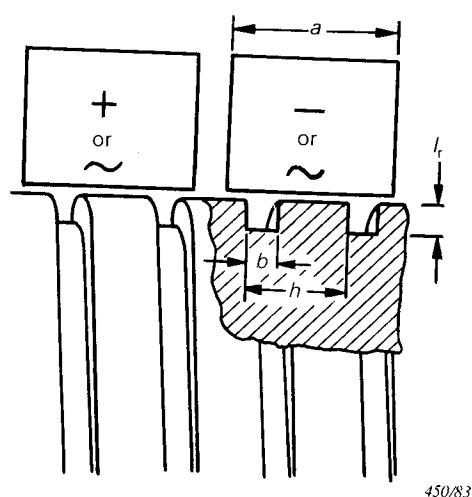


FIGURE 15

6.3.1.2 b) The groove shall be "single-start" and the depth l_r of the slot shall be between 4 mm and 5 mm and not permitted to go below 1.5 mm.

6.3.1.2 c) For a brush having an a dimension of 25 mm, h shall be 12.5 mm in order to avoid pulsations of brush pressure.

The groove width b should lie between $\frac{h}{3}$ and $\frac{h}{4}$.

Note. — It is appreciated that asynchronous motor slip-rings use a brush having the t dimension greater than the a dimension. It is suggested that, for this comparative testing and to maintain the standardization of test apparatus, the same holders as recommended for "commutator" motor test brushes be used. Those having the largest t dimension are to be preferred.

6.3.1.3 *Préparation des bagues d'essais*

6.3.1.3 a) Ovalisation. Celle-ci doit normalement être conforme à la spécification figurant au paragraphe 6.2.1.3 b), c'est-à-dire que les déformations géométriques et le faux-rond ne doivent pas, quand la bague lisse ou hélicée tourne lentement dans ses propres paliers, donner lieu à une déviation du comparateur supérieure à 0,01 mm.

6.3.1.3 b) Les bagues lisses de bronze ou de cuivre doivent être tournées comme indiqué au paragraphe 6.2.1.3 c).

6.3.1.3 c) Bagues acier. Ces bagues doivent être rectifiées par meulage en utilisant une meule rigidement montée et de préférence indépendamment entraînée dans un sens de rotation opposé à celui de la bague qui, elle-même, doit tourner à sa vitesse d'essai normale. Une meule de grain moyen doit être utilisée.

Avant l'essai, les arêtes des rainures doivent être ébavurées et les copeaux enlevés des rainures. Les angles vifs des rainures ainsi que leurs bavures peuvent être enlevés avec une pierre abrasive de qualité, c'est-à-dire à base d'un abrasif alumineux dont le grain est plus fin que 220.

6.3.1.3 d) Le fini de la surface doit avoir le degré de rugosité spécifié au paragraphe 6.2.1.3 e).

6.3.2 *Disposition des balais*

6.3.2.1 Quand la bague fonctionne en courant continu, les balais d'une polarité doivent frotter sur une même piste, ceux de l'autre polarité sur une seconde piste.

Il faut au minimum deux balais par piste. Si un plus grand nombre de balais par piste est utilisé, les balais doivent être uniformément répartis autour de la bague; la surface frottante totale des balais ne doit, en aucun cas, être supérieure à 20% de la surface de la piste.

Note. — Pour des essais purement comparatifs, il convient de noter que l'utilisation de porte-balais du type «trainant» ne devrait pas avoir d'effet néfaste et réduirait le nombre de types de porte-balais nécessaire.

6.3.3 *Conditions de fonctionnement*

6.3.3.1 Le calcul de la pression et de la densité de courant dans les balais doit être effectué comme pour les bagues lisses, c'est-à-dire sans tenir compte de l'hélicage.

7. *Mode opératoire et conditions d'essai*

7.1 *Généralités*

7.1.1 Les balais d'essai doivent être tous de la même nuance. La chute de tension dans la connexion U_F des balais d'essai doit être préalablement mesurée et l'on retiendra pour l'essai quatre balais ayant une chute de tension similaire dans la connexion similaire, soit dans une tolérance non supérieure à $\pm 20\%$.

7.1.2 Préparer la bague comme indiqué aux paragraphes 6.2.1.3 a) à 6.2.1.3 e) et 6.3.1.3 a) à 6.3.1.3 d).

7.1.3 Ajuster les balais d'essai sur la bague à l'aide de papier abrasif à l'oxyde de silicium ou à l'oxyde d'aluminium ou autre papier ou tissu abrasif non conducteur, moyen et ensuite fin. Il

6.3.1.3 *Preparation of test rings*

6.3.1.3 a) Ovality. This should be to the same specification as indicated in Sub-clause 6.2.1.3 b), i.e. both plain and helically grooved rings to have a maximum regular eccentricity (ovality) not greater than 0.01 mm when measured turning slowly in its own bearings using a suitable depth gauge.

6.3.1.3 b) Plain bronze or copper rings to be turned as indicated in Sub-clause 6.2.1.3 c).

6.3.1.3 c) Steel rings. These rings shall be re-surfaced by grinding, using a rigidly mounted, preferably independently driven grindstone rotating in the opposite direction to that of the slip-ring which itself shall rotate at normal test speed. A medium grit wheel shall be used.

Before the test, all burrs and swarf shall be removed from the slots and slot edges. The sharp edges of the slots and their burrs can be removed with a good quality abrasive stone, that is, with an alumina base of which the grain size is finer than 220.

6.3.1.3 d) The surface finish shall be to the degree of roughness as specified in Sub-clause 6.2.1.3 e).

6.3.2 *Arrangement of brushes*

6.3.2.1 For d.c. operation, each brush polarity shall run on its own track.

A minimum of two brushes per track shall be used. If more than this number of brushes per track is used, they shall be uniformly spaced around the slip-ring and in no case shall the total brush surface area exceed 20% of the surface area of the track.

Note. — In purely comparative testing it is considered that the use of "trailing" aspect brush holders would not be deleterious and would reduce the number of brush holder types required.

6.3.3 *Operating conditions*

6.3.3.1 The calculation of brush pressure and brush current density shall be the same as for plain rings, that is, the effect of a helical groove on these quantities shall be ignored.

7. *Test schedules and operating conditions*

7.1 *General*

7.1.1 The test brushes shall all be of the same grade. The connection drop U_F of the test brushes shall be measured prior to testing, and four brushes of similar connection drop values should be selected for test with a tolerance of not more than $\pm 20\%$.

7.1.2 Prepare the test ring as indicated in Sub-clauses 6.2.1.3 a) to 6.2.1.3 e) and 6.3.1.3 a) to 6.3.1.3 d).

7.1.3 Bed the test brushes to the ring with firstly medium and then fine silicon-oxide or aluminium-oxide or other non-conducting abrasive paper or cloth. It is essential to remove

est essentiel que toute trace de patine provenant de l'essai précédent soit enlevée de la surface de la bague à l'aide d'un papier abrasif fin. Après cette opération, nettoyer à fond la machine, la bague, les balais et les gaines des porte-balais.

7.1.4 Appliquer sur les balais les pressions spécifiées (voir le tableau I, au paragraphe 7.3.1).

7.1.5 Le rodage des balais doit alors être commencé aux conditions de vitesse et de densité de courant spécifiées pour l'essai. Durant cette période, on veillera à ce qu'aucun fonctionnement anormal du balai (crissements, étincelles, rayures, noircissement ou température excessive de la bague, etc.) n'apparaisse. Ces phénomènes peuvent affecter défavorablement l'essai.

7.1.6 Le rodage doit être poursuivi durant 24 h au minimum et jusqu'à ce qu'on obtienne, pour trois mesures consécutives effectuées toutes les heures, des valeurs stables de μ et de U_C .

A ce moment, toutes les faces frottantes doivent être examinées pour voir si les balais sont complètement rodés, c'est-à-dire si elles sont uniformément bien polies.

Si elles ont un aspect satisfaisant, la machine doit alors être arrêtée et la bague d'essai examinée pour vérifier que la patine formée est bien uniforme.

7.1.7 Lorsque le rodage a été reconnu satisfaisant, tous les balais doivent être numérotés et leur dimension r être mesurée. Il est très important que chaque balai soit alors replacé exactement de la même manière et dans le même porte-balai qu'il occupait durant le rodage et que le système de pression soit replacé sur la tête du balai exactement dans sa position précédente.

7.2 Mode opératoire

7.2.1 Un essai d'une durée minimale de 100 h (après rodage) est suffisant si la mesure de l'usure des balais n'est pas demandée. Si, toutefois, une mesure de l'usure des balais est demandée, cette durée doit être augmentée jusqu'à 150 h au moins et jusqu'à ce que cette usure soit mesurable sans erreur importante.

7.2.2 Avant chaque mesure de μ et de U_C , l'intensité du courant dans le balai d'essai et la vitesse de la bague doivent être vérifiées et réajustées si nécessaire.

Si les mesures de μ et de U_C ne sont pas effectuées à l'aide d'appareils enregistreurs, la tension du moteur d'entraînement, le courant et U_C doivent être lus sur des appareils à aiguille ou numériques, avec des intervalles de 2 h au moins entre chaque lecture. Si cela est nécessaire, ce temps peut être réduit ou augmenté. En même temps que les mesures ci-dessus, seront enregistrées la température ambiante, la température du balai et la température de la bague (si possible).

Note. — La température du balai peut être mesurée au moyen d'un très petit thermocouple ou de toute autre méthode permettant d'assurer la précision requise des mesures. La tête du thermocouple est placée à l'intérieur du balai, à 5 mm de sa face frottante et approximativement à une profondeur de 5 mm d'une face latérale, emplacement indiqué sur la figure 4, page 14.

Les fils du thermocouple peuvent aussi jouer le rôle d'une des électrodes du voltmètre pour la mesure de U_C (voir l'annexe B pour les autres méthodes de mesure des températures).

7.2.3 La distribution du courant entre les balais d'essai doit être examinée en même temps que les mesures de μ et de U_C sont effectuées. Tout procédé de mesure convenable peut être utilisé. Une méthode simple consiste en la mesure de la chute de tension dans le câble du balai avec un millivoltmètre adéquat.

7.2.4 Le taux d'humidité de l'atmosphère ambiante doit être enregistré chaque jour.

from the ring all traces of patina (skin) remaining from the previous test with fine abrasive paper. Thoroughly clean the test ring, brushes and brush boxes after these operations.

- 7.1.4 Set the specified pressures on the brushes (see Table I, in Sub-clause 7.3.1).
- 7.1.5 Brush “bedding” shall then be commenced at the specified conditions of speed and current density for the test. During this period, close observation shall be made to ascertain that no abnormal brush performance occurs, (chattering, ring grooving, sparking, ring blackening, excessive ring temperature, etc.) These phenomena can adversely affect the test.

- 7.1.6 “Bedding” shall be continued for 24 h minimum and until stable μ and U_C readings have been obtained for at least three consecutive hourly readings.

At this point, all brush contact surfaces shall be examined to determine that the brushes are, in fact, fully bedded, that is, the brush surfaces are uniformly well polished.

If these appear satisfactory, the machine shall be stopped and the test ring examined to see that a substantially uniform patina (skin) has been developed.

- 7.1.7 When bedding has been satisfactorily concluded, all the brushes shall be numbered and their r dimension measured. It is most important that each brush be then replaced in exactly the same manner and in the same brush box it occupied in “bedding” and that the brush pressure system be replaced on the head of the brush in exactly its previous position.

7.2 Test procedure

- 7.2.1 A test of minimum 100 h duration (after bedding) may be sufficient if brush wear measurements are not required. If, however, brush wear measurement is required, this period shall be extended to 150 h at least, in order that a more accurate determination of brush wear can be made.

- 7.2.2 Prior to each measurement of μ and U_C , the test brush current and ring speed should be checked and re-adjusted if necessary.

If recording instruments are not used for the measurement of μ and U_C , readings of drive motor voltage, current and U_C should be made with pointer or digital instruments at intervals of at least 2 h. If necessary, this time interval may be reduced or increased. At the same time as the above measurements are made, room, brush and ring temperatures shall be recorded, if possible.

Note. — Brush temperature can be measured by means of a fine thermocouple. The “bead” of the thermocouple, or other method ensuring the required measurement accuracy, being located at 5 mm from the running face of the brush and approximately 5 mm distance inwards from the side of the brush, as indicated in Figure 4, page 15.

The thermocouple wires can also serve as one voltmeter probe for measuring U_C (see Appendix B for other methods of measuring temperature).

- 7.2.3 Current distribution between test brushes shall be examined at the same time as μ and U_C are measured. Any suitable test measuring device can be used. One simple method could be by the measurement of the voltage drop in the brush flexible cable with a suitable millivoltmeter.

- 7.2.4 The humidity of the test room atmosphere shall be recorded daily.

7.2.5 L'observation de l'étincelage, des crissemments, des vibrations, etc. doit être faite en même temps que les mesures de μ et U_C , ou deux ou trois fois par jour si des appareils enregistreurs sont utilisés pour obtenir μ et U_C .

7.2.6 Le courant dans le balai d'essai (charge) et la vitesse de rotation doivent être maintenus aux valeurs spécifiées $\pm 5\%$.

7.2.7 A la fin de chaque essai, une description précise des surfaces de la bague et des balais doit être effectuée.

7.3 Conditions d'essai

7.3.1 Les conditions d'essai données ci-dessous sont les conditions moyennes susceptibles d'être rencontrées sur des machines courantes.

TABLEAU I

Symbole	Désignation	Unité	EG	BG	HC-CG	NG	MG
t	Dimension tangentielle	mm	12,5, 16, 20	10, 12,5	10, 12,5, 16	12,5, 16, 20	12,5, 16, 20
a	Dimension axiale	mm	25	25	25	25	25
r	Dimension radiale	mm	40	40	40	40	40
v_t	Vitesse périphérique	m/s	25 à 55	25 à 35	10 à 25	25 à 55	10 à 25
J_B	Densité de courant	A/m ²	10 à 12,5 $\times 10^4$	6 à 10 $\times 10^4$	6 à 10 $\times 10^4$	8 à 12,5 $\times 10^4$	19,5 à 24,5 $\times 10^4$
P_B	Pression du balai	kPa kN/m ²	18 à 22	18 à 22	15 à 18	13 à 20	20 à 25
$\theta_C \quad g_C$	Température réelle de la bague	°C	80 à 100	80 à 100	80 à 100	80 à 100	80 à 100
AH	Humidité absolue	g (H ₂ O)m ⁻³	8 à 12	8 à 12	8 à 12	8 à 12	8 à 12
AH	Humidité absolue	g (H ₂ O)kg ⁻¹					

Note. — Il convient que tous ces essais soient effectués dans une atmosphère absolument exempte de poussières, de vapeurs chimiques, etc.

8. Sources de courant pour les balais d'essai

8.1 Alimentation en courant continu

8.1.1 Génératrice à courant continu. Elle doit pouvoir fournir l'intensité maximale probable quand une résistance ballast de stabilisation est insérée dans le circuit des balais d'essai. Une source à courant constant et à faible constante de temps, comme une génératrice de soudure, peut aussi être utilisée.

8.1.2 Redresseur à diode. Alimenté à partir d'une source de courant alternatif, il doit pouvoir fournir l'intensité maximale probable. L'ondulation du courant doit être définie comme suit. Le taux d'ondulation (K_0) ne doit pas dépasser 0,10 (10%) et sa valeur sera notée pour chaque essai.

7.2.5 Observations of sparking, chatter, vibration, etc. shall be made at the same time as μ and U_C are measured, or two or three times daily if recording instruments are used to obtain μ and U_C .

7.2.6 The test brush (load) current and rotational speed shall be maintained at $\pm 5\%$ of the specified values.

7.2.7 At the end of each test, accurate brush and ring surface descriptions shall be recorded.

7.3 Test conditions

7.3.1 The test conditions listed below are "medium" conditions likely to be met on non-specialized machines.

TABLE I

Symbol	Name	Unit	EG	BG	HC-CG	NG	MG
t	Tangential dimension	mm	12.5, 16, 20	10, 12.5	10, 12.5, 16	12.5, 16, 20	12.5, 16, 20
a	Axial dimension	mm	25	25	25	25	25
r	Radial dimension	mm	40	40	40	40	40
v_t	Peripheral speed	m/s	25 to 55	25 to 35	10 to 25	25 to 55	10 to 25
J_B	Current density	A/m ²	10 to 12.5 × 10 ⁴	6 to 10 × 10 ⁴	6 to 10 × 10 ⁴	8 to 12.5 × 10 ⁴	19.5 to 24.5 × 10 ⁴
P_B	Brush pressure	kPa kN/m ²	18 to 22	18 to 22	15 to 18	13 to 20	20 to 25
$\theta_C \quad \vartheta_C$	Actual ring temperature	°C	80 to 100	80 to 100	80 to 100	80 to 100	80 to 100
AH	Absolute humidity	g (H ₂ O)m ⁻³	8 to 12	8 to 12	8 to 12	8 to 12	8 to 12
AH	Absolute humidity	g (H ₂ O)kg ⁻¹					

Note. — All these should be carried out in an atmosphere substantially free from dust, chemical vapour, etc.

8. Current sources for test brushes

8.1 Direct current supply

8.1.1 D.C. generator. To be capable of supplying the maximum likely demand when a stabilizing ballast resistance is included in the test brush circuit; alternatively, a constant-current source of short time-constant, such as a welding generator, may be used.

8.1.2 Diode rectifier. Fed from an a.c. source and capable of supplying the maximum likely demand. Current ripple shall be defined as follows. The ripple factor (K_0) shall not exceed 0.10 (10%). This value should be recorded for each test.

$$\text{Taux d'ondulation } K_0 = \frac{i_{\max} - i_{\min}}{i_{\max} + i_{\min}}$$

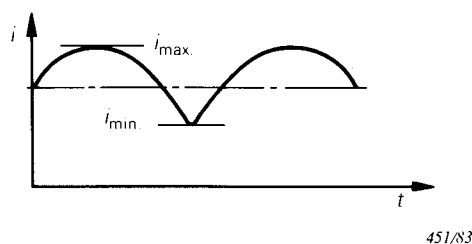


FIGURE 16

Note. — Cette valeur du taux d'ondulation est conforme à la définition VEI 551-06-30 de la Publication 50(551) de la CEI: Vocabulaire Electrotechnique International (VEI), chapitre 551: Electronique de puissance. Il convient cependant de remarquer qu'il existe une définition en variante: VEI 131-03-14 de la Publication 50(131) de la CEI: Chapitre 131: Circuits électriques et magnétiques. Elle est utilisée depuis de nombreuses années, mais donne une valeur double.

8.1.3 Redresseur contrôlé (comme pour le paragraphe 8.1.2).

Note. — Quel que soit son type, il convient que l'alimentation choisie soit capable de maintenir le courant de charge choisi à la valeur spécifiée pour l'essai en cours $\pm 5\%$, et de répondre rapidement aux changements de la tension de contact.

8.2 *Fonctionnement en courant alternatif des balais d'essai*

8.2.1 Il peut être obtenu à l'aide d'une source réglable à courant constant, par exemple un transformateur de soudure convenable pour fonctionner sur la fréquence locale (40 Hz à 60 Hz).

Le transformateur choisi doit donner une onde sinusoïdale pratiquement pure pour les diverses intensités demandées.

$$\text{Ripple factor } K_0 = \frac{i_{\max} - i_{\min}}{i_{\max} + i_{\min}}$$

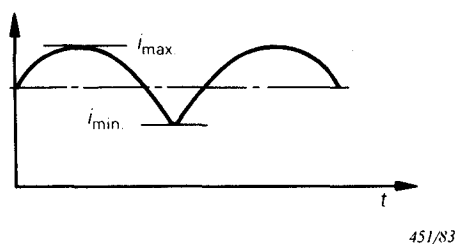


FIGURE 16

Note. — This ripple factor value is in accordance with definition IEV 551-06-30 of IEC Publication 50(551): International Electrotechnical Vocabulary (IEV), Chapter 551: Power Electronics, but it should be noted that there is an alternative definition, IEV 131-03-14, of IEC Publication 50(131): Chapter 131: Electric and Magnetic Circuits, which has been in use for many years, but which gives double the value.

8.1.3 Controlled rectifier (as for Sub-clause 8.1.2).

Note. — Whichever type of power source is chosen, it should be capable of maintaining the selected load current to within $\pm 5\%$ of the required value for the test in progress and have a quick response to changes of contact voltage.

8.2 Operation of test brushes with alternating current

8.2.1 This may be achieved by a controllable constant current source, for example a welding transformer suitable for operating from the local frequency (40 Hz to 60 Hz).

The transformer chosen shall produce a sensibly pure sine wave output over the required current range.

ANNEXE A

DÉTERMINATION DE LA FORMULE DU TAUX D'USURE DU BALAI

Le taux d'usure du balai peut être donné à l'aide de nombreuses unités différentes couramment utilisées en pratique comme le montre le paragraphe 5.1.4.

Ces diverses unités peuvent convenir pour indiquer l'usure du balai dans des applications spécifiques, mais aucune ne tient compte des principes de base de l'usure du balai qui doivent être démontrés.

L'usure d'un balai fonctionnant dans des conditions de travail données qui, dans certains cas, doivent être spécifiées, est un paramètre de travail de ce balai, obtenu empiriquement et il est également nécessaire de définir la manière de résoudre les variations des résultats d'essai dues à la polarité et à la position du balai.

Dans des conditions de travail données, un petit volume dV d'un balai est enlevé par érosion d'une petite surface du balai dA quand il glisse sur une bague ou sur un collecteur d'une distance dl .

Ce volume $dV = da \cdot dt \cdot dr$ est enlevé par usure.

Ce volume dV est proportionnel à la longueur du chemin dl mesuré dans le sens du glissement,

$$dV = W \cdot dl = da \cdot dt \cdot dr \quad (1)$$

où W est le facteur de proportionnalité qui n'est pas nécessairement constant sur toute la surface frottante du balai, à tout moment, et qui peut aussi varier dans une large mesure le long du chemin total de glissement l observé.

Donc, VI sur toute la longueur du chemin l est égal à:

$$VI = \int_a \int_t \int_r dA \cdot dr = \int_a \int_t \int_l W \cdot dl \quad (2)$$

où $dr = f_1(a, t)$ et $W = f_2(a, t, l)$.

Ces intégrales peuvent être résolues en supposant:

- (1) que, pour un intervalle de temps suffisant ou un chemin parcouru suffisamment long, le balai s'use uniformément sur toute sa surface $A = a \cdot t$,
- (2) qu'un facteur de proportionnalité moyen $\bar{W}$ calculé sur tout le chemin parcouru l soit introduit.

Avec ces suppositions, VI devient:

$$VI = A \cdot \Delta r + C_r = \bar{W} \cdot l + C_a + Cl \quad (3)$$

où C_r , C_a et Cl sont des constantes d'intégration.

Pour $l = 0 \dots C_r$ devient nul et $C_a = -Cl$, donc

$$VI = A \cdot \Delta r = \bar{W} \cdot l \text{ ou } \frac{VI}{l} = \frac{A \cdot \Delta r}{l} = \bar{W} \text{ avec } A = a \cdot t \quad (4)$$

$\bar{W}$ est le taux d'usure avec ses unités (m^3/m) pour lequel le symbole WR est choisi.

APPENDIX A

DETERMINATION OF A FORMULA FOR BRUSH WEAR RATE

Many different practical units to indicate brush wear are in current use as shown in Sub-clause 5.1.4.

These various units may be convenient for indicating brush wear under specific applications but all ignore the basic principles of brush wear which should be derived.

Brush wear is an empirically derived working parameter of a brush under given operational conditions which shall, in any case, be specified and it is also necessary to define how test result variations due to brush polarity and position will be resolved.

In given working conditions, a small volume dV of the brush is eroded from a small area of brush dA when sliding a distance dl on a slip-ring or commutator.

This volume, $dV = da \cdot dt \cdot dr$ is worn away.

This volume dV is proportional to the path length dl measured in the direction of sliding,

$$dV = W \cdot dl = da \cdot dt \cdot dr \quad (1)$$

where W is the factor of proportionality and may not necessarily be constant over the whole brush surface area at any given moment and may also vary within a wide range along the observed total sliding path l .

Thus, VI over the total path l becomes:

$$VI = \int_a \int_t \int_r dA \cdot dr = \int_a \int_t \int_l W \cdot dl \quad (2)$$

where $dr = f_1(a, t)$ and $W = f_2(a, t, l)$.

These integrals may be solved assuming that:

- (1) over a sufficiently long time interval or sliding path length, the brush will wear uniformly over the whole area $A = a \cdot t$,
- (2) a proportionality factor $\bar{W}$ averaged over the total sliding path l is introduced.

From these assumptions, " VI " becomes

$$VI = A \cdot \Delta r + C_r = \bar{W} \cdot l + C_a + Cl \quad (3)$$

where C_r , C_a and Cl are constants of integration.

For $l = 0 \dots C_r$ becomes 0 and $C_a = -Cl$, thus

$$VI = A \cdot \Delta r = \bar{W} \cdot l \text{ or } \frac{VI}{l} = \frac{A \cdot \Delta r}{l} \bar{W} \text{ with } A = a \cdot t \quad (4)$$

$\bar{W}$ is the wear rate with its units (m^3/m) for which the symbol WR is chosen.

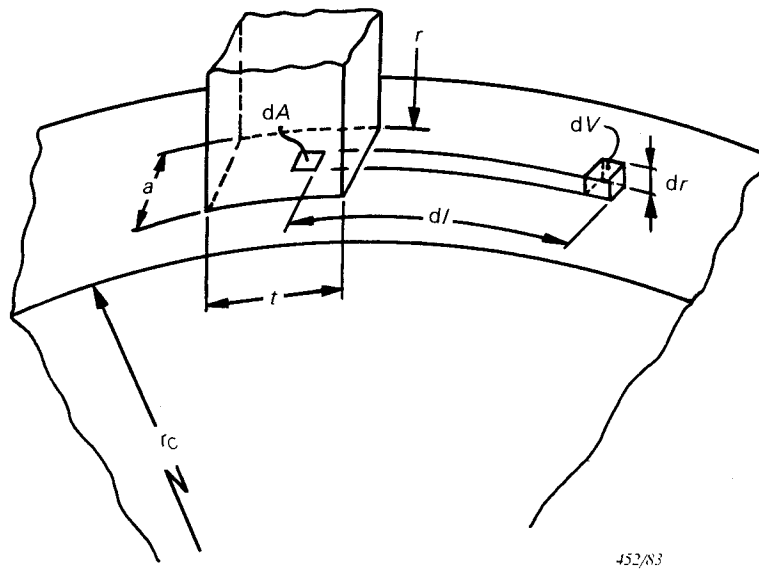


FIGURE A1

Le chemin total parcouru l pour un balai fonctionnant sur une bague ou un collecteur de rayon r_C à une vitesse de rotation de n tr/min et pour un temps de service t_s est:

$$l = V_t \cdot t_s \cdot 3\,600 = 120 \cdot r_C \cdot \pi \cdot n \cdot t_s \quad (5)$$

où: r_C = rayon du collecteur ou de la bague (m)

n = vitesse de rotation (tr/min)

t_s = temps de service (h)

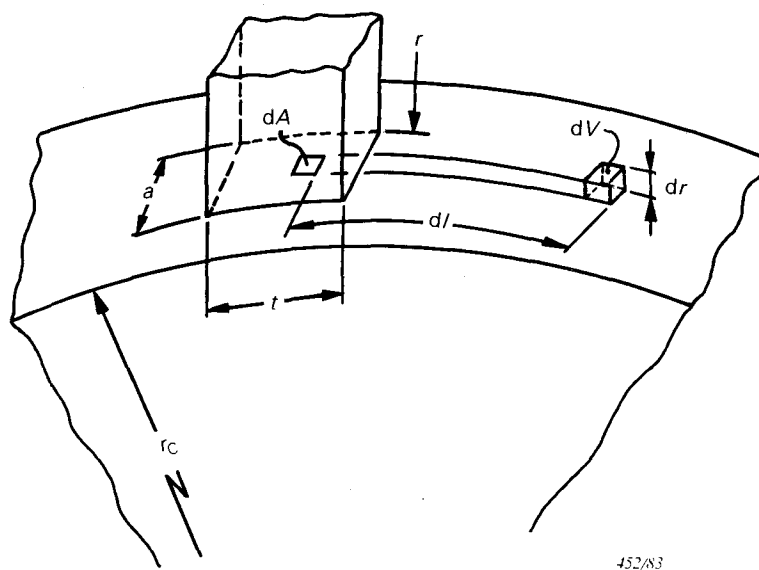


FIGURE A1

The total sliding path l for a brush running on a slip-ring or commutator of radius r_C at a rotational speed of n rev/min and service time t_s is:

$$l = V_t \cdot t_s \cdot 3\,600 = 120 \cdot r_C \cdot \pi \cdot n \cdot t_s \quad (5)$$

where: r_C = radius of commutator or slip-ring (m)

n = rotational speed (rev/min)

t_s = service time (h)

ANNEXE B

MESURE DE LA TEMPÉRATURE DES BALAIS, DES BAGUES D'ESSAI ET DE L'HUMIDITÉ ATMOSPHÉRIQUE

Il existe plusieurs méthodes permettant de mesurer les grandeurs mentionnées ci-dessus.

B1. Température des balais

La température du balai peut être mesurée en y insérant trois thermocouples comme indiqué dans le croquis ci-dessous (figure B1).

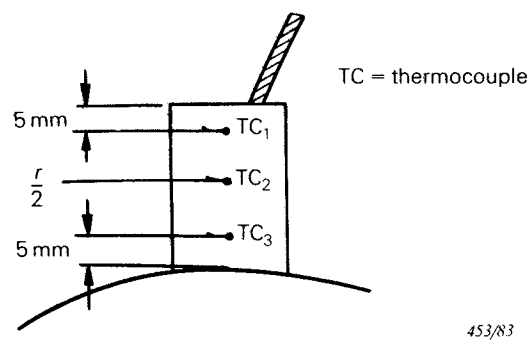


FIGURE B1

La température de l'interface balai/bague peut être mesurée avec un degré de précision raisonnable par extrapolation des valeurs mesurées à l'aide des trois thermocouples insérés dans le balai.

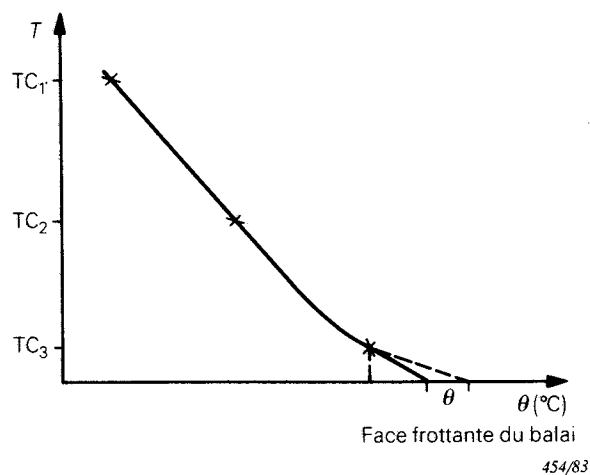


FIGURE B2

APPENDIX B

MEASUREMENT OF TEMPERATURE OF BRUSHES, TEST RINGS AND ATMOSPHERIC HUMIDITY

There are several methods by which the above-mentioned quantities may be measured.

B1. *Brush temperature*

The brush temperature may be measured by the insertion of three thermocouples in the brush as indicated by the sketch below (Figure B1).

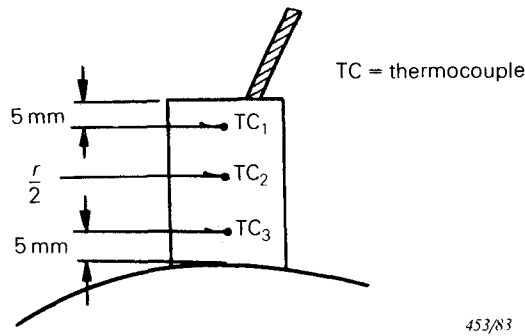


FIGURE B1

The temperature at the brush/ring interface may be extrapolated with a reasonable degree of accuracy from the readings from the three embedded thermocouples.

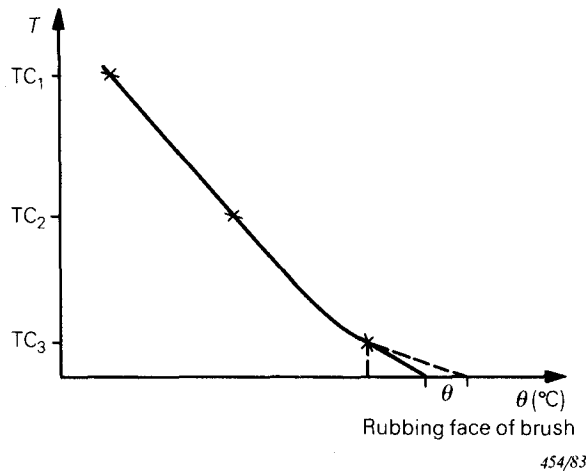


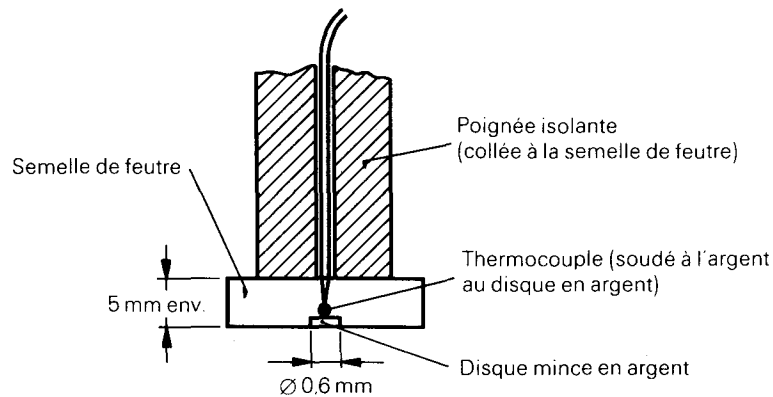
FIGURE B2

B2. Température de la bague

Si possible, une courbe de refroidissement «température/temps» doit être établie pour chaque machine d'essai. Cette courbe, qui a une forme exponentielle, peut être extrapolée en revenant au temps $t = 0$ s, avec un degré de précision satisfaisant.

Les mesures de température peuvent être effectuées avec:

- a) un thermocouple (sonde de surface) pour lequel une exécution possible est donnée sur la figure B3;



455/83

FIGURE B3

- b) un thermomètre à thermistance;
- c) un thermocouple peut être aussi inclus dans la bague et les fils ramenés à deux bagues auxiliaires de mesure montées sur le même axe que la bague d'essai.

Si cette méthode de mesure est adoptée, les bagues auxiliaires doivent être en cuivre, en cuivre argenté ou en argent et avoir le plus faible diamètre possible.

La tension de sortie des thermocouples doit être collectée à l'aide d'au moins deux balais graphite-argent par bague.

Ces bagues auxiliaires doivent être protégées des effets thermiques extérieurs.

B3. Mesure de la température et de l'humidité atmosphériques

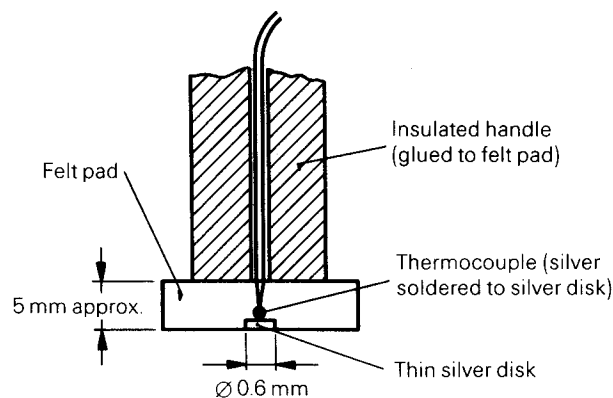
La méthode psychrométrique (thermomètres sec et humide) est probablement le moyen le plus simple pour obtenir à la fois les humidités relative et absolue en utilisant un diagramme de conversion approprié. L'humidité absolue en g (H₂O)/m³ d'air, qui est donnée par cette méthode, doit être ramenée à 25 °C et à une pression de 1 bar.

B2. Ring temperature

If possible, a cooling curve of temperature versus time should be made for each test machine. This curve, which is exponential in form, may be extrapolated back to $t = 0$ s, with a fair degree of accuracy.

Temperature measurements can be made with:

- a) a thermocouple (surface pyrometer) for which a suggested design is given in Figure B3;



455/83

FIGURE B3

- b) a resistant thermometer;
- c) alternatively, a thermocouple may be embedded within the ring, and the wires brought out to two auxiliary measuring slip rings mounted coaxially to the test ring.

If this method of measurement is adopted, the auxiliary slip-rings shall be made of copper, silver-plated copper or silver and made to the smallest practical diameter.

The output voltage of the thermocouple shall be collected by not less than two silver-graphite brushes per ring.

These auxiliary slip-rings shall be protected from external thermal effects.

B3. Measurement of atmospheric temperature and humidity

The psychrometric (wet and dry bulb thermometers) method is probably the simplest way of obtaining both relative and absolute humidity, when used with an appropriate conversion chart. This method will give the absolute humidity in g (H₂O)/m³ air and shall be corrected to 25°C and a pressure of 1 bar.

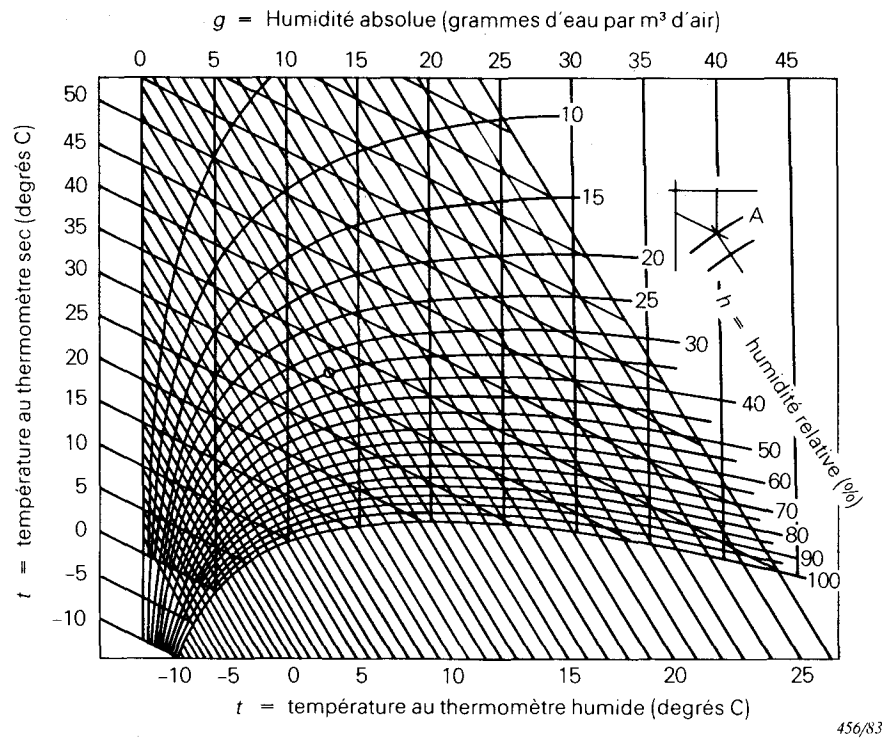


FIGURE B4

Le psychromètre doit fonctionner en air calme et près de la machine en essai.

Une unité moins utilisée est: g (H₂O)/kg d'air sec. Cette unité peut aussi être obtenue à l'aide d'un diagramme de conversion à partir des relevés psychrométriques normaux.

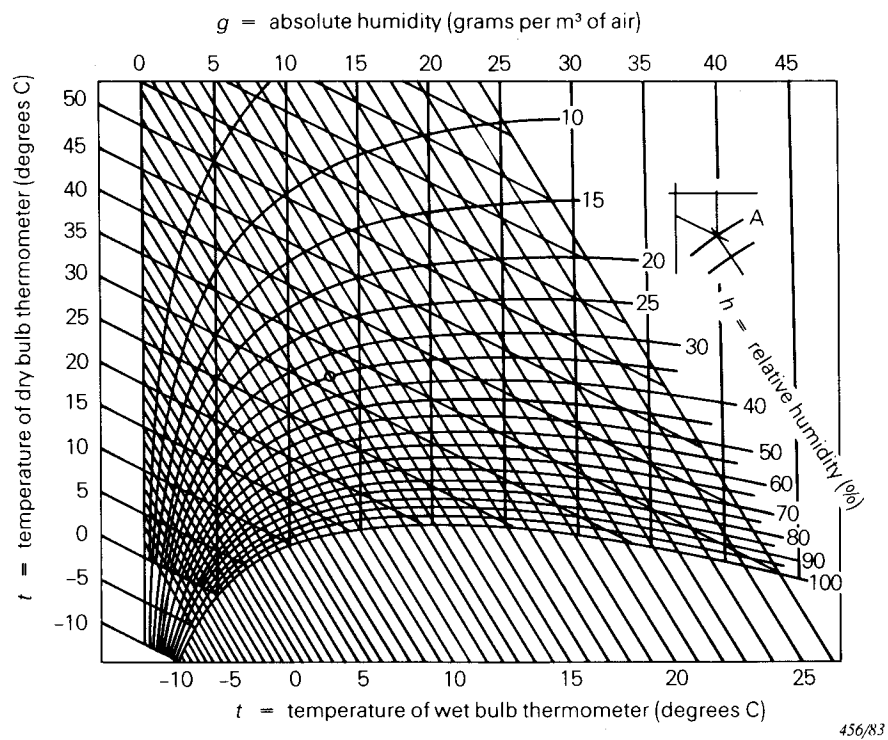


FIGURE B4

The psychrometer shall be operated in still air and adjacent to the machine under test.

A lesser used unit is $g(H_2O)/kg$ dry air. This unit can also be obtained from the conversion chart from normal psychrometric readings.

ANNEXE C

LE DYNAMOMÈTRE COMME AUTRE MACHINE D'ESSAI POUR LA MESURE DU COEFFICIENT DE FROTTEMENT

(Voir la figure C1 qui montre les organes fondamentaux d'un dynamomètre)

C1. *Suggestions pour l'exécution d'un ensemble dynamométrique*

- 1) Les axes de rotation de la bague et de la couronne porte-balais doivent être alignés le mieux possible.
- 2) L'ensemble dynamométrique doit être mécaniquement rigide et avoir la masse maximale possible afin de constituer un amortisseur efficace pour les vibrations à haute fréquence engendrées par les balais en essai.
- 3) On doit prendre de grandes précautions pour que le frottement dû aux paliers de la couronne porte-balais soit minimal afin de ne pas contrarier la force mesurée due au frottement des balais.
- 4) Le mouvement angulaire de la couronne porte-balai doit être limité afin que le déplacement tangentiel des balais qui en résulte n'excède pas 0,5 mm.
- 5) Il existe aujourd'hui beaucoup de systèmes mécaniques et électriques pour mesurer la force de frottement des balais et il est facile de se procurer un dynamomètre d'un des types souhaitables suivants:

a) jauge de contrainte b) détecteur de déplacement c) pressistor d) transformateur différentiel	}	recommandés pour utilisation avec appareils enregistreurs
e) levier et poids f) dynamomètre à ressort	}	pour lecture au vol

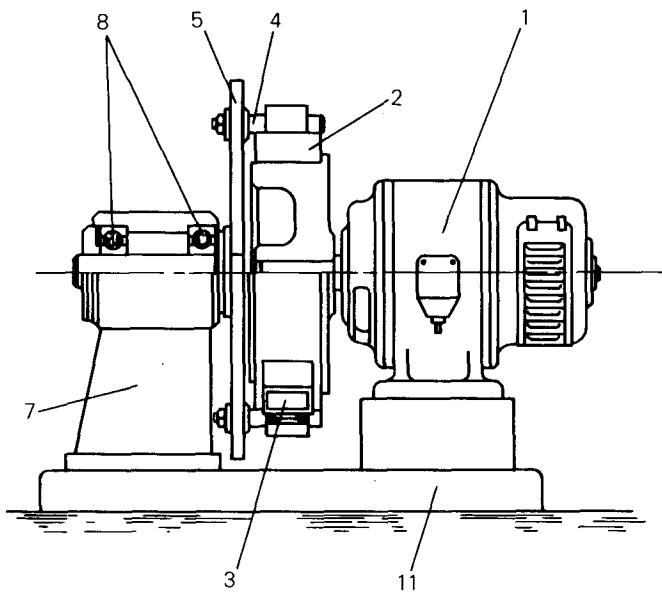
APPENDIX C

THE DYNAMOMETER AS AN ALTERNATIVE TEST MACHINE FOR THE
MEASUREMENT OF THE COEFFICIENT OF FRICTION

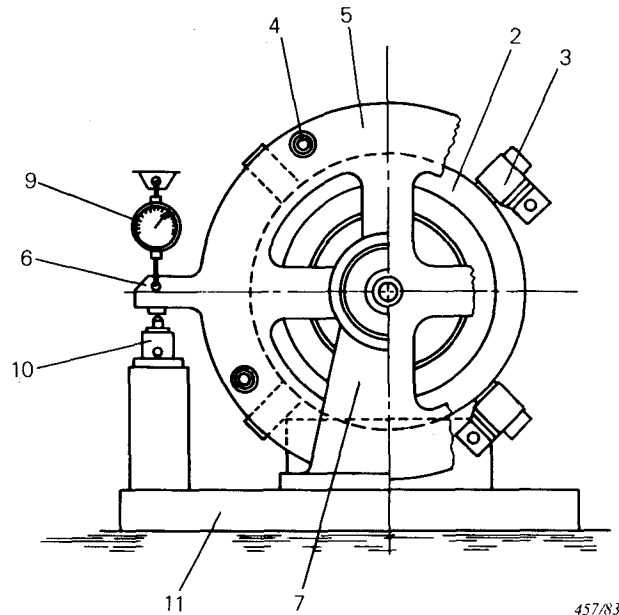
(See Figure C1 which shows the fundamental design of a dynamometer)

C1. *Hints on the design of a dynamometer*

- 1) The axes of the rotating slip-ring and the brush holder support ring shall be made as concentric as possible.
 - 2) The dynamometer assembly shall be mechanically "stiff" (i.e. rigid) and have the maximum possible mass in order to provide adequate damping of the high frequency vibrations generated by the brushes under test.
 - 3) Great care shall be taken to ensure that the friction of the brush holder support ring bearings is minimal in order that the measured brush friction force is not adversely affected.
 - 4) The angular movement of the brush holder support ring shall be restricted so that the relative tangential movement of the brush to cage should not exceed 0.5 mm.
 - 5) There are, nowadays, many acceptable systems, both mechanical and electrical available for measuring the brush friction force, and one suitable for the design of the dynamometer should be available for the following:
 - a) strain gauge
 - b) displacement transducer
 - c) load cell
 - d) differential transformer
 - e) lever and weights
 - f) spring balance
- } these are suitable for use with recording instruments
- } for spot readings



- 1 moteur CC ou entraînement à vitesse variable
- 2 bague d'essai
- 3 porte-balai et balai
- 4 tige support de porte-balais
- 5 couronne porte-balais
- 6 levier du dynamomètre



- 7 palier à billes du dynamomètre et son support
- 8 roulement à bille du dynamomètre
- 9 système de mesure de la force (dynamomètre à ressort)
ou
- 10 détecteur électrique de force
- 11 plaque d'embase

FIG. C1. - Machine pour essais de balais (dynamomètre).

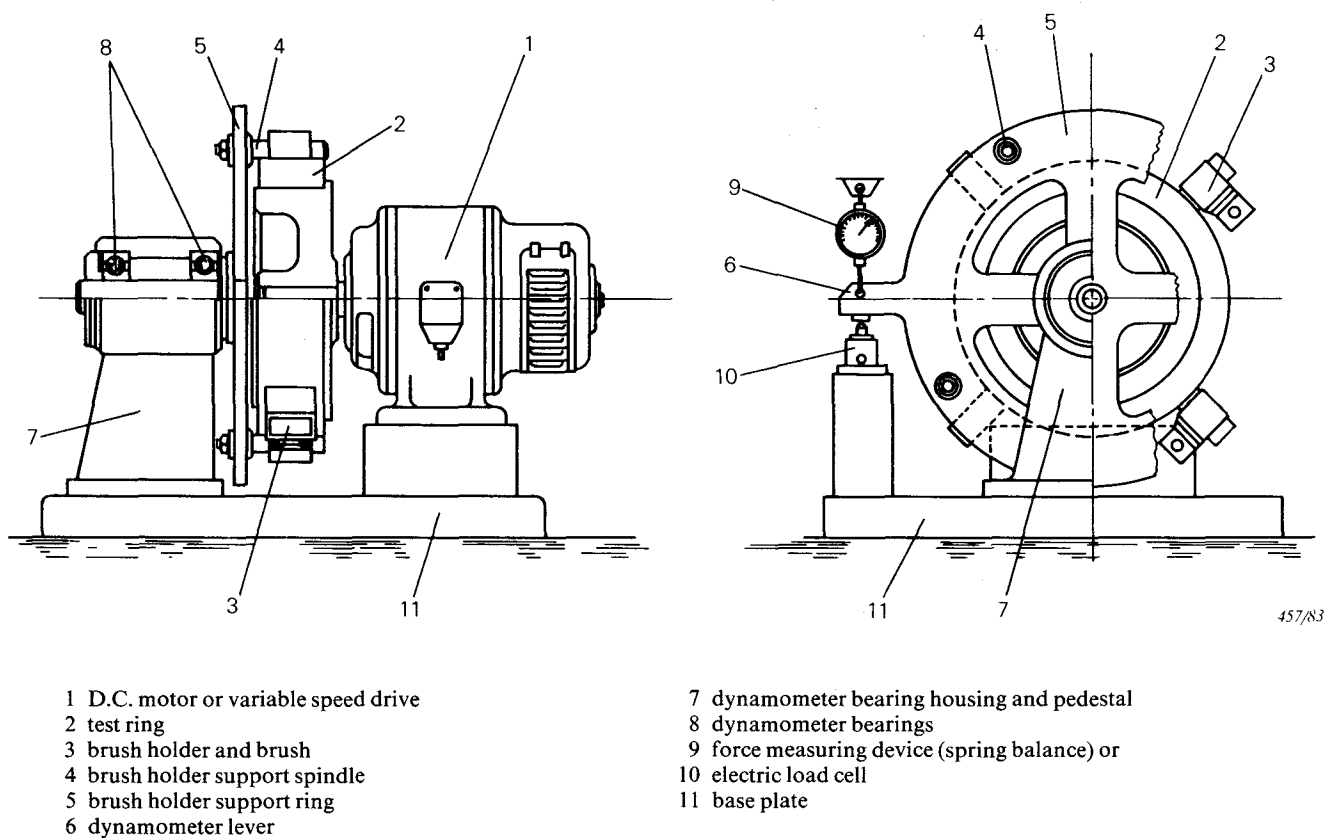


FIG. C1. - Brush test machine (dynamometer).

ANNEXE D

CONSIDÉRATIONS SUR LES PRÉCISIONS PROBABLES ET SUR LA REPRODUCTIBILITÉ DES MESURES

- D1. Du fait de la nature des matières de balais, des changements des conditions ambiantes dans les limites recommandées, etc., une reproductibilité absolue des résultats d'essai ne peut être envisagée.
 - D2. Si tous les paramètres *contrôlables* sont maintenus avec précision, les essais répétés effectués sur une même machine et avec les mêmes jeux de balais doivent donner une précision et une reproductibilité du coefficient de frottement, de la chute de tension au contact et de l'usure des balais telles que chaque mesure soit égale à $\pm 10\%$ de la moyenne des résultats trouvés dans les précédents essais. Les remarques ci-dessus impliquent que les essais ont été effectués en suivant strictement le même mode opératoire.
 - D3. Il est aussi suggéré que des jeux de balais d'essai de différentes matières soient réservés pour les essais d'étalonnage de la machine. Avant chaque essai, il est recommandé que la chute de tension dans la connexion soit vérifiée et que les connexions soient refaites si des changements significatifs de cette chute de tension en millivolts apparaissent.
-

APPENDIX D

DISCUSSION OF PROBABLE ACCURACIES AND REPEATABILITY OF SUCH MEASUREMENTS

- D1. In view of the nature of the brush material, changes within the recommended ranges of ambient conditions, etc., absolute repeatability of test results is not to be expected.
- D2. If all *controllable* parameters are accurately maintained, repeat tests carried out on the same machine with the same brush sets shall give accuracy versus repeatability of coefficient of friction, contact drop voltage and brush wear within, say, $\pm 10\%$ for each measurement compared with the average results found on previous tests. The above remarks assume that the same test procedure has been strictly followed.
- D3. It is also suggested that sets of test brushes in various materials are reserved for machine calibration tests. Before each test, it is recommended that the connection millivolt drop be monitored and that the connections be re-made if significant changes in connection millivolt drops are found.
-

ICS 29.160.10
