

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61972

Première édition
First edition
2002-11

**Méthode pour la détermination des pertes
et du rendement des moteurs triphasés
à induction à cage**

**Method for determining losses and efficiency
of three-phase cage induction motors**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61972:2002

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions 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.

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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 cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- **Site web de la CEI** (www.iec.ch)
- **Catalogue des publications de la CEI**

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut.htm) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- **IEC Just Published**

Ce résumé des dernières publications parues (http://www.iec.ch/online_news/justpub/jp_entry.htm) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- **Service clients**

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. 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.

Further information on IEC publications

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 this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. 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 also available from the following:

- **IEC Web Site** (www.iec.ch)
- **Catalogue of IEC publications**

The on-line catalogue on the IEC web site (http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut.htm) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- **IEC Just Published**

This summary of recently issued publications (http://www.iec.ch/online_news/justpub/jp_entry.htm) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- **Customer Service Centre**

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: custserv@iec.ch
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61972

Première édition
First edition
2002-11

**Méthode pour la détermination des pertes
et du rendement des moteurs triphasés
à induction à cage**

**Method for determining losses and efficiency
of three-phase cage induction motors**

© IEC 2002 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, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

R

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	4
1 Domaine d'application	6
2 Références normatives	6
3 Termes, définitions et symboles	6
3.1 Termes et définitions	6
3.2 Symboles	8
4 Prescriptions d'essai	10
4.1 Alimentation	10
4.2 Instrumentation	10
4.3 Limites d'incertitude	12
5 Mode opératoire	12
5.1 Généralités	12
5.2 Température de la machine avant essai	14
5.3 Essais en charge	14
5.4 Essai à vide à tension variable	14
6 Détermination du rendement	16
6.1 Généralités	16
6.2 Pertes à vide	16
6.3 Pertes supplémentaires en charge	18
6.4 Corrections de la température ambiante	22
6.5 Rendement	24
6.6 Rendement à des points de charge spécifiques	24
Annexe A (informative) Formulaire recommandé pour le calcul du rendement du moteur	30
Annexe B (informative) Analyse de régression linéaire	32
Annexe C (normative) Correction des valeurs de couples dynamométriques mesurées	36
Figure 1 – Valeurs assignées des pertes supplémentaires en charge (méthode 2)	26
Figure 2 – Détermination des pertes à vide (voir 6.2) (exemple)	28
Figure 3 – Lissage des pertes supplémentaires en charge (voir 6.3.1.5) (exemple)	28

CONTENTS

FOREWORD	5
1 Scope	7
2 Normative references	7
3 Terms, definitions and symbols	7
3.1 Terms and definitions	7
3.2 Symbols	9
4 Test requirements	11
4.1 Power supply	11
4.2 Instrumentation	11
4.3 Limits of uncertainty	13
5 Test procedure	13
5.1 General	13
5.2 Temperature of machine before test	15
5.3 Tests under load	15
5.4 No-load test at variable voltage	15
6 Determination of efficiency	17
6.1 General	17
6.2 No-load losses	17
6.3 Additional-load losses	19
6.4 Reference coolant temperature corrections	23
6.5 Efficiency	25
6.6 Efficiency at specific load points	25
Annex A (informative) Recommended form for calculation of motor efficiency	31
Annex B (informative) Linear regression analysis	33
Annex C (normative) Correction of dynamometer torque readings	37
Figure 1 – Assigned allowance for additional load losses (method 2)	27
Figure 2 – Determination of no-load losses (see 6.2) (example)	29
Figure 3 – Smoothing of the additional load losses (see 6.3.1.5) (example)	29

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MÉTHODE POUR LA DÉTERMINATION DES PERTES ET DU RENDEMENT DES MOTEURS TRIPHASÉS À INDUCTION À CAGE

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61972 a été établie par le sous-comité 2G, Méthodes et procédures d'essai, du comité d'études 2 de la CEI: Machines tournantes.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
2G/125/FDIS	2G/126/RVD

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2007. A cette date, la publication sera

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

METHOD FOR DETERMINING LOSSES AND EFFICIENCY OF THREE-PHASE CAGE INDUCTION MOTORS

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61972 has been prepared by subcommittee 2G: Test methods and procedures, of IEC technical committee 2: Rotating machinery.

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

FDIS	Report on voting
2G/125/FDIS	2G/126/RVD

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2007. At this date, the publication will be

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

MÉTHODE POUR LA DÉTERMINATION DES PERTES ET DU RENDEMENT DES MOTEURS TRIPHASÉS À INDUCTION À CAGE

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale s'applique aux moteurs triphasés à induction à cage et établit deux méthodes pour la détermination du rendement:

- Méthode 1: pour les moteurs soumis aux essais en utilisant un dispositif de mesure de couple, les pertes supplémentaires en charge étant déduites des mesures;
- Méthode 2: pour les moteurs soumis aux essais sans dispositif de mesure de couple avec pertes supplémentaires en charge assignées.

Ces deux méthodes sont différentes quant au mode opératoire permettant d'obtenir les pertes supplémentaires en charge. Sauf spécification contraire, il convient que la méthode 1 soit utilisée pour les moteurs d'une puissance allant jusqu'à 150 kW.

Pour d'autres méthodes d'estimation de rendement, voir la CEI 60034-2.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60034-1, *Machines électriques tournantes – Partie 1: Caractéristiques assignées et caractéristiques de fonctionnement*

CEI 60034-2:1972, *Machines électriques tournantes – Deuxième partie: Méthodes pour la détermination des pertes et du rendement des machines électriques tournantes à partir d'essais (à l'exclusion des machines pour véhicules de traction)*

Amendement 1 (1995)

Amendement 2 (1996)

CEI 60044 (toutes les parties), *Transformateurs de mesure*

CEI 60051-1, *Appareils mesureurs électriques indicateurs analogiques à action directe et leurs accessoires – Partie 1: Définitions et prescriptions générales communes à toutes les parties*

CEI 60279, *Mesure de la résistance des enroulements d'une machine à courant alternatif en fonctionnement sous tension alternative*

3 Termes, définitions et symboles

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans la CEI 60034-1 et dans la CEI 60034-2, ainsi que les définitions suivantes, s'appliquent.

METHOD FOR DETERMINING LOSSES AND EFFICIENCY OF THREE-PHASE CAGE INDUCTION MOTORS

1 Scope

This International Standard is applicable to three-phase cage induction motors and establishes two methods for determination of efficiency:

- Method 1: for motors tested by using a torque measurement device, with additional load losses derived from measurements;
- Method 2: for motors tested without torque measurement, with assigned additional load losses.

The two methods are different in the procedure to obtain the additional load losses. Unless otherwise specified, method 1 should be used for motors up to 150 kW.

For other methods of efficiency estimation, see IEC 60034-2.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60034-1, *Rotating electrical machines – Part 1: Rating and performance*

IEC 60034-2:1972, *Rotating electrical machines – Part 2: Methods for determining losses and efficiency of rotating electrical machinery from tests (excluding machines for traction vehicles)*
Amendment 1 (1995)
Amendment 2 (1996)

IEC 60044 (all parts), *Instrument transformers*

IEC 60051-1, *Direct acting indicating analogue electrical measuring instruments and their accessories – Part 1: Definitions and general requirements common to all parts*

IEC 60279, *Measurement of the winding resistance of an a.c. machine during operation at alternative voltage*

3 Terms, definitions and symbols

3.1 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60034-1 and in IEC 60034-2, as well as the following, apply.

3.1.1

pertes dans le fer

pertes dans le fer actif et pertes à vide additionnelles dans d'autres parties métalliques

3.1.2

pertes supplémentaires en charge

- pertes engendrées par le courant de charge dans le fer actif et dans d'autres parties métalliques, à l'exception des conducteurs
- pertes par courants de Foucault dans les conducteurs des enroulements primaire ou secondaire dues à des pulsations de flux dépendant du courant

NOTE Dans certains pays, ces pertes sont également connues sous l'appellation de perte de charge parasite.

3.2 Symboles

$\cos \varphi$	facteur de puissance
f	fréquence d'alimentation
I	courant de ligne
I_0	courant de ligne à vide
$(I^2R)_0$	pertes Joule statoriques à vide
$(I^2R)_s$	pertes Joule statoriques
$(I^2R)_r$	pertes Joule rotoriques
$(I^2R)_{ss}$	pertes Joule statoriques corrigées à la température en charge assignée qui a été corrigée à une température de refroidissement de référence de 25 °C
$(I^2R)_{rs}$	pertes Joule rotoriques corrigées à la température en charge assignée qui a été corrigée à une température de refroidissement de référence de 25 °C
k_d	correction du couple dynamométrique
n	vitesse de fonctionnement (voir note)
p	nombre de paires de pôles
P_1	puissance absorbée
P_2	puissance utile
P_{2N}	puissance utile assignée
P_{FE}	pertes dans le fer
P_f	pertes par ventilation et frottement
P_k	pertes constantes
P_L	pertes résiduelles
P_{LL}	pertes supplémentaires en charge
P_0	puissance absorbée à vide
P_{d0}	puissance absorbée avec dynamomètre entraîné sans charge
R	résistance statorique entre phases en courant continu
R_a	résistance statorique entre phases à la température initiale d'enroulement θ_i mesurée à température ambiante
R_s	résistance statorique entre phases corrigée à la température de référence du fluide de refroidissement de 25° C
R_N	résistance statorique entre phases à la charge assignée, à la fin de l'essai thermique
R_0	résistance statorique entre phases à vide
s	glissement en valeur unitaire de la vitesse synchrone

3.1.1**core losses**

losses in active iron and additional no-load losses in other metal parts

3.1.2**additional load losses**

- a) losses produced by the load current in active iron and other metal parts other than conductors.
- b) eddy current losses in primary or secondary winding conductors caused by current dependent flux pulsations.

NOTE These losses are also known as stray load loss in some countries.

3.2 Symbols

$\cos \varphi$	power factor
f	supply frequency
I	line current
I_0	line current at no-load
$(I^2R)_0$	stator winding losses at no-load
$(I^2R)_s$	stator winding losses
$(I^2R)_r$	rotor winding losses
$(I^2R)_{ss}$	stator winding losses corrected to the rated load temperature which has been corrected to a reference coolant temperature of 25 °C
$(I^2R)_{rs}$	rotor winding losses corrected to the rated load temperature which has been corrected to a reference coolant temperature of 25 °C
k_d	dynamometer torque correction
n	operating speed (see note)
p	number of pole pairs
P_1	input power
P_2	output power
P_{2N}	rated output power
P_{FE}	core losses
P_f	windage and friction losses
P_k	constant losses
P_L	residual losses
P_{LL}	additional-load losses
P_0	input power at no-load
P_{d0}	input power at no-load with coupled dynamometer
R	stator line-to-line d.c. resistance
R_a	stator line-to-line resistance at the initial winding temperature θ_i measured at ambient temperature
R_s	stator line-to-line resistance corrected to a reference coolant temperature of 25° C
R_N	stator line-to-line resistance at rated load at the end of the thermal test
R_0	stator line-to-line resistance at no-load
s	slip in per unit value of synchronous speed
s_s	the slip corrected to a reference temperature of 25 °C

s_s	glissement corrigé à une température de référence de 25 °C
T	couple corrigé
T_d	valeur relevée sur le dispositif de mesure du couple
T_{d0}	valeur de couple relevée avec dynamomètre entraîné sans charge
U	tension aux bornes
U_0	tension aux bornes à vide
U_N	tension assignée aux bornes
η	rendement
θ_a	température ambiante
θ_c	température du fluide de refroidissement de référence. Le fluide de refroidissement de référence dans le cas d'une machine à refroidissement à air-eau est le fluide de refroidissement primaire
θ_i	température initiale d'enroulement
θ_N	température de l'enroulement statorique à la charge assignée

NOTE Les unités sont des unités SI telles qu'énumérées dans la CEI 60027-1. La vitesse n est la fréquence de rotation en s^{-1} (rév/s). Les valeurs de vitesse en min^{-1} (rév/min) doivent être divisées par 60.

4 Prescriptions d'essai

4.1 Alimentation

4.1.1 Tension

La tension doit être la tension assignée, et l'alimentation doit être conforme à 6.2.1 de la CEI 60034-1.

4.1.2 Fréquence

La fréquence doit être égale à la fréquence spécifiée $\pm 0,3$ % pendant les mesures.

4.2 Instrumentation

4.2.1 Appareils de mesure des grandeurs électriques

Les appareils de mesure doivent avoir une classe de précision de 0,2 conformément à la CEI 60051-1.

La précision des appareils étant généralement exprimée en pourcentage de pleine échelle, l'étendue de mesure choisie pour l'appareil doit être aussi faible que possible.

4.2.2 Transformateurs de mesure

Les transformateurs de mesure doivent avoir une classe de précision de 0,2 conformément à la CEI 60044.

4.2.3 Mesure du couple

Les appareils utilisés pour mesurer le couple doivent avoir une précision de $\pm 0,2$ % de pleine échelle.

Lorsque le dispositif de charge est un dynamomètre, un essai de correction du couple doit être effectué. L'Annexe C donne une méthode permettant d'obtenir le couple T corrigé.

T	corrected torque
T_d	reading of the torque measuring device
T_{d0}	torque reading at no-load with coupled dynamometer
U	terminal voltage
U_0	terminal voltage at no-load
U_N	rated terminal voltage
η	efficiency
θ_a	ambient temperature
θ_c	temperature of the reference coolant. The reference coolant in the case of an air-water cooled machine is the primary coolant
θ_i	initial winding temperature
θ_N	stator winding temperature at rated load

NOTE Units are SI-units as listed in IEC 60027-1. Speed n is the rotational frequency in s^{-1} (rev/s). Speed values in min^{-1} (rev/min) should be divided by 60.

4 Test requirements

4.1 Power supply

4.1.1 Voltage

The voltage shall be the rated voltage and the electrical supply in accordance with 6.2.1 of IEC 60034-1.

4.1.2 Frequency

The frequency shall be within $\pm 0,3$ % of specified frequency during measurements.

4.2 Instrumentation

4.2.1 Measuring instruments for electrical quantities

The measuring instruments shall have an accuracy class of 0,2 in accordance with IEC 60051-1.

Since instrument accuracy is generally expressed as a percentage of full scale, the range of the instrument chosen shall be as low as practical.

4.2.2 Instrument transformers

Instrument transformers shall have an accuracy class of 0,2 according to IEC 60044.

4.2.3 Torque measurement

The instrumentation used to measure the torque shall have an accuracy of $\pm 0,2$ % of full scale.

When the loading device is a dynamometer, a torque correction test shall be carried out. A method to obtain the corrected torque T is given in Annex C.

4.2.4 Mesure de la vitesse et de la fréquence

Les appareils utilisés pour mesurer la fréquence doivent avoir une précision de $\pm 0,1$ % de pleine échelle. Il convient que la mesure de la vitesse soit précise à $\pm 1 \text{ min}^{-1}$ de la lecture.

4.2.5 Mesure de la température

Les appareils utilisés pour mesurer les températures doivent avoir une précision de ± 1 °C.

4.3 Limites d'incertitude

4.3.1 Généralités

L'incertitude telle qu'elle est utilisée dans cette norme est l'incertitude qui concerne la détermination d'un vrai rendement. Elle reflète les dispersions de la procédure d'essai et des appareils de mesure.

4.3.2 Méthode 1

Les valeurs de rendement et de pertes déterminées avec la méthode 1 sont normalement affectées d'une incertitude de $\pm 0,5$ % points pour le rendement ou $\pm 0,5 \text{ \%}/(1 - \eta)$ pour les pertes totales.

4.3.3 Méthode 2

Comme les pertes supplémentaires en charge ne sont pas mesurées dans la méthode 2, une indication concernant les limites d'incertitude de rendement n'est pas possible. Pour la partie mesurée des pertes, l'incertitude est normalement de ± 1 % sur les pertes mesurées.

5 Mode opératoire

5.1 Généralités

Les sous-essais qui constituent le présent mode opératoire doivent être réalisés dans l'ordre où ils sont énumérés. Il n'est pas nécessaire que les essais soient effectués immédiatement les uns après les autres. Cependant, si les sous-essais sont effectués séparément, les conditions thermiques spécifiées doivent être rétablies avant de récupérer les données d'essai.

Tous les essais et toutes les mesures de charges spécifiés en 5.3.2 doivent être réalisés pour la détermination du rendement par la méthode 1. Lorsqu'il est prévu d'appliquer la méthode 2 avec des pertes supplémentaires en charge assignées, il n'est pas nécessaire de mesurer le couple et il est admis de réduire le nombre de points de charge donné en 5.3.2 à la charge assignée.

Sauf indication contraire dans la présente norme, on doit utiliser la moyenne arithmétique des trois courants et tensions de ligne. La résistance statorique entre phases est la valeur relevée entre deux bornes quelconques pour lesquelles une valeur de référence a été mesurée à une température connue.

L'élévation de température des enroulements doit être déterminée par la méthode de résistance, soit par mesure directe soit par la méthode par superposition.

NOTE La détermination de la résistance avec des dispositifs de mesure de température pour chaque point de charge fournit un résultat d'essai plus précis que la détermination de la valeur R avant la lecture de la charge la plus élevée et après la lecture de la charge la plus faible, spécialement pour les moteurs ayant des constantes de temps thermiques faibles.

4.2.4 Speed and frequency measurement

The instrumentation used to measure frequency shall have an accuracy of $\pm 0,1$ % of full scale. The speed measurement should be accurate within $\pm 1 \text{ min}^{-1}$ of the reading.

4.2.5 Temperature measurement

The instrumentation used to measure temperatures shall have an accuracy of ± 1 °C.

4.3 Limits of uncertainty

4.3.1 General

Uncertainty as used in this standard is the uncertainty of determining a true efficiency. It reflects variations in the test procedure and instruments.

4.3.2 Method 1

Efficiency and loss values determined by method 1 are normally within an uncertainty of $\pm 0,5$ % points on efficiency, or $\pm 0,5 \text{ \%}/(1 - \eta)$ on total losses.

4.3.3 Method 2

Since the additional load losses are not measured in method 2, a statement on efficiency uncertainty limits is not possible. For the measured part of the losses, the uncertainty is normally within ± 1 % on measured losses.

5 Test procedure

5.1 General

The subtests that make up this test procedure shall be performed in the sequence listed. It is not essential that the tests are carried out in immediately one after another. However, if the subtests are performed individually, then the specified thermal conditions shall be re-established prior to obtaining the test data.

All load tests and measurements specified in 5.3.2 shall be carried out for the determination of efficiency by method 1. When it is intended to apply method 2 with assigned additional load losses, torque measurements need not be taken, and the number of load points in 5.3.2 may be reduced to rated load.

Unless otherwise stated in this standard, the arithmetic average of the three line currents and voltages shall be used. The stator line-to-line resistance is the value across any two terminals for which a reference value has been measured at a known temperature.

The temperature rise of windings shall be determined by the resistance method; either by direct measurement or by the superposition method.

NOTE Determining the resistance with temperature-measuring devices for each load point will provide a more accurate test result than determining R before the highest and after the lowest load reading, especially for motors with low thermal time constants.

5.2 Température de la machine avant essai

Les conditions initiales doivent être telles que spécifiées en 7.3.2 de la CEI 60034-1.

Mesurer et noter les valeurs: R_a et θ_i .

5.3 Essais en charge

5.3.1 Essai thermique à la charge assignée

A la fin de l'essai thermique à la charge assignée (voir la CEI 60034-1, section 7), mesurer les valeurs de R_N , θ_N , et θ_c .

La première mesure de la résistance doit être effectuée dans les délais prescrits au Tableau 4 de la CEI 60034-1. Ceci ne concerne pas la méthode de mesure par courant continu superposé (voir la CEI 60279).

5.3.2 Essais de charge

Avant de commencer l'enregistrement des données pour cet essai, la température de l'enroulement statorique doit être à ± 5 °C de la température obtenue à partir de l'essai thermique à la charge assignée (voir 5.3.1).

Le moteur est placé sous charge par des moyens appropriés et le couple est mesuré (uniquement si la méthode 1 est utilisée) en utilisant un dispositif conforme aux prescriptions de 4.2.3.

Prévoir six points de charge. Quatre points sont répartis à des intervalles approximativement égaux entre 25 % minimum jusqu'à 100 % de charge inclus. Les deux points de charge restants sont répartis à des intervalles approximativement égaux entre 100 % et 150 % au maximum. Pour l'essai du moteur, commencer à la valeur de charge la plus élevée et procéder par ordre décroissant jusqu'à la charge la plus faible. Ces essais doivent être réalisés aussi rapidement que possible pour minimiser les variations de température à l'intérieur de la machine au cours de l'essai.

Pour chacun des six points, mesurer U , I , P_1 , T_d , f , et n . Déterminer la valeur R avant la lecture de la charge la plus élevée et après la lecture de la charge la plus faible. Pendant les mesures, la variation de fréquence entre tous les points doit être inférieure à 0,1 %. La résistance pour une charge de 100 % et plus est la valeur déterminée avant la lecture pour la charge la plus élevée. La résistance utilisée pour des charges de moins de 100 % est déterminée de manière linéaire par rapport à la charge en utilisant les valeurs obtenues avant l'essai pour une charge de 100 % et après la valeur la plus faible obtenue pour une charge de 25 %.

Les résistances peuvent également être déterminées en mesurant la température de l'enroulement statorique en utilisant un capteur de température installé sur l'enroulement. Les résistances pour chaque point de charge sont calculées à partir de la température de l'enroulement à ce point de charge, en relation avec la résistance et à la température mesurées avant le début de l'essai.

5.4 Essai à vide à tension variable

Juste après l'essai de charge, désaccoupler le moteur du dispositif de charge et alimenter le moteur à la fréquence assignée sous au moins 4 valeurs de tension, y compris la valeur 100 %, à des intervalles approximativement égaux entre 125 % et 60 % de la tension assignée, et sous au moins trois valeurs de tension à des intervalles approximativement égaux entre 50 % et 20 % de la tension assignée ou en un point où le courant de ligne atteint une valeur minimale ou devient instable. Pour les machines à refroidissement à eau, couper l'eau juste après l'essai de charge.

5.2 Temperature of machine before test

The initial condition shall be as specified in 7.3.2 of IEC 60034-1.

Measure and record: R_a and θ_i .

5.3 Tests under load

5.3.1 Rated load thermal test

At the end of the rated load thermal test (see clause 7 of IEC 60034-1) measure R_N , θ_N , and θ_C .

The first reading of resistance shall be taken within the time specified in Table 4 of IEC 60034-1. It is of no concern if the method of superimposed d.c. current (see IEC 60279) is used.

5.3.2 Load tests

Before starting to record data for this test, the temperature of the stator winding shall be within 5 °C of the temperature obtained from a rated load thermal test (see 5.3.1).

The motor is loaded by suitable means and the torque measured (only when method 1 is used) by a device complying with the requirements of 4.2.3.

Apply the load to the motor at six load points. Four load points should be chosen to be approximately equally spaced between not less than 25 % and up to and including the 100 % load. The remaining two load points should be suitably chosen approximately equally spaced above 100 % load but not exceeding 150 % load. When loading the motor, start at the highest load value and proceed in descending order to the lowest. These tests shall be performed as quickly as possible to minimize temperature changes in the machine during testing.

At each of the six points, measure U , I , P_1 , T_d , f , and n . Determine R before the highest and after the lowest load reading. During measurements for each point, the frequency variation shall be less than 0,1 %. The resistance for 100 % load and higher loads shall be the value determined before the highest load reading. The resistance used for loads less than 100 % shall then be determined as being linear function of load, using the reading before the test for the 100 % load and after the lowest reading for the 25 % load.

Resistances may also be determined by measuring the stator winding temperature using a temperature-sensing device installed on the winding. Resistances for each load point may then be determined from the temperature of the winding at that point in relation to the resistance and temperature measured before the start of the test.

5.4 No-load test at variable voltage

Immediately after the load test, uncouple the motor from the loading device and apply power at the rated frequency to the motor at a minimum number of 4 values of voltage, including the 100 % value, approximately equally spaced between 125 % and 60 % of rated voltage and three or more values of voltage, approximately equally spaced, between 50 % of rated voltage down to approximately 20 % of rated voltage, or to a point where the line current reaches a minimum value or becomes unstable. For water-cooled machines, interrupt water-flow immediately after the load test.

L'essai doit être réalisé aussi rapidement que possible, les mesures étant dans l'ordre décroissant des tensions.

A chacune des valeurs de tension, mesurer U_0 , I_0 , P_0 et déterminer R_0 en mesurant la résistance avant la valeur de tension la plus élevée et après la valeur de tension la plus faible obtenues. La résistance pour chaque tension doit être obtenue par interpolation linéaire, en commençant avant la lecture de tension la plus élevée et en terminant après la lecture de tension la plus basse.

Les résistances peuvent également être déterminées en mesurant la température de l'enroulement statorique en utilisant un capteur de température installé sur l'enroulement. Les résistances pour chaque point de tension sont calculées à partir de la température de l'enroulement à ce point de charge, en relation avec la résistance et à la température mesurées avant le début de l'essai (voir 5.2).

6 Détermination du rendement

6.1 Généralités

La détermination du rendement nécessite une correction de la température et une séparation des pertes.

NOTE Lorsqu'on utilise la méthode 2 avec des pertes supplémentaires en charge assignées, on doit noter que la courbe de la Figure 1 ne représente pas une moyenne mais l'enveloppe supérieure d'un grand nombre de valeurs mesurées et qu'elle donnera dans la plupart des cas des valeurs de rendement plus faibles que la méthode 1.

Un formulaire recommandé est fourni en Annexe A.

6.2 Pertes à vide

6.2.1 Pertes constantes

La puissance absorbée représente les pertes totales de l'essai à vide. En soustrayant les pertes Joule statoriques à vide (à la température de l'essai à vide) de la puissance absorbée à vide, on obtient les pertes constantes P_k qui sont la somme des pertes par frottement, par ventilation et des pertes dans le fer. Pour chaque valeur de tension enregistrée en 5.4, soustraire les pertes Joule statoriques à vide $(I^2R)_0$ de la puissance d'entrée P_0 pour obtenir les pertes constantes P_k .

$$P_k = P_0 - (I^2R)_0 = P_f + P_{FE}$$

Avec $(I^2R)_0 = 1,5 I_0^2 R_0$

où P_0 , I_0 et R_0 sont conformes à 5.4.

6.2.2 Pertes par ventilation et frottement

Pour chacune des valeurs de tension enregistrée avec 50 % ou moins de la tension assignée au cours de l'essai à vide (voir 5.4), tracer les pertes constantes P_k , comme déterminé en 6.2.1 par rapport au carré de la tension $(U_0)^2$. En extrapolant une ligne droite jusqu'à la tension zéro, l'intersection avec l'axe de tension zéro représente les pertes par ventilation et par frottement P_f (voir la Figure 2).

Les pertes par ventilation et par frottement sont considérées comme étant indépendantes de la charge et on peut utiliser la même valeur des pertes par ventilation et frottement pour chacun des six points de charge.

The test shall be carried out as quickly as possible with the readings taken in descending order of voltage.

At each of the voltage values, measure U_0 , I_0 , P_0 and determine R_0 by measuring the resistance before the highest and after the lowest voltage readings. The resistance for each voltage shall be obtained by linear interpolation, starting with the value from before the highest voltage reading and ending with the value from after the lowest voltage reading.

Resistances may also be determined by measuring the stator winding temperature using a temperature-sensing device installed on the winding. Resistances for each voltage point may then be determined from the temperature of the winding at that point in relation to the resistance and temperature measured before the start of the test (see 5.2).

6 Determination of efficiency

6.1 General

The determination of efficiency requires temperature correction and segregation of losses.

NOTE When using method 2 with assigned additional load losses, it has to be realized that the curve in Figure 1 does not represent an average but an upper envelope of a large number of measured values, and will in most cases yield lower values of efficiency than method 1.

A recommended worksheet is provided in Annex A.

6.2 No-load losses

6.2.1 Constant losses

Input power is the total of the losses in the no-load test. Subtracting the no-load stator winding losses (at the temperature during the no-load test) from the no-load input power gives the constant losses P_k which are the sum of the friction, windage, and core losses. For each value of voltage recorded in 5.4, subtract the no-load stator winding loss $(I^2R)_0$ from the input power P_0 to obtain the constant losses P_k .

$$P_k = P_0 - (I^2R)_0 = P_f + P_{FE}$$

with $(I^2R)_0 = 1,5 I_0^2 R_0$

where P_0 , I_0 and R_0 are according to 5.4.

6.2.2 Windage and friction losses

For each of the values of voltage recorded with 50 % or less of rated voltage during the no-load test (see 5.4), plot the constant losses P_k , as determined in 6.2.1 against the voltage squared $(U_0)^2$. Extrapolating a straight line to zero voltage, the intercept with the zero voltage axis is the windage and friction losses P_f (see Figure 2).

Windage and friction losses are considered to be independent of load and the same windage and friction value can be used for each of the six load points.

6.2.3 Pertes dans le fer

Pour chacune des valeurs de tension entre 60 % et 125 %, déterminer les pertes constantes P_k comme décrit en 6.2.1 et placer les valeurs sur une courbe par rapport à la tension U_0 . Pour compenser l'effet de la chute de tension dans la résistance des enroulements primaires, les pertes dans le fer en chaque point de charge doivent être fondées sur la tension réduite U_r , qui est obtenue par le calcul approché suivant:

$$U_r = \sqrt{\left(U - \frac{\sqrt{3}}{2}IR \cos \varphi\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2}IR \sin \varphi\right)^2}$$

où

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{\sqrt{3}UI}$$

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}$$

U , I , P_1 et R sont conformes à 5.3.2.

Déterminer les pertes constantes P_k pour une tension réduite U_r à chaque point de charge. Soustraire de cette valeur les pertes par ventilation et par frottement P_f afin de déterminer les pertes dans le fer P_{FE} .

$$P_{FE} = P_k - P_f$$

où P_f est mesuré selon 6.2.2.

6.3 Pertes supplémentaires en charge

6.3.1 Méthode 1: calcul des pertes supplémentaires en charge (obtenues à partir des mesures)

6.3.1.1 Pertes Joule statoriques

Déterminer les pertes Joule statoriques $(I^2R)_s$ en chacun des six points de charge mesurés en 5.3.2 en utilisant l'équation

$$(I^2R)_s = 1,5 I^2R$$

où I et R sont des valeurs déterminées en 5.3.2.

6.3.1.2 Pertes Joule rotoriques

Déterminer les pertes Joule rotoriques $(I^2R)_r$ pour chacun des six points de charge en utilisant l'équation:

$$(I^2R)_r = (P_1 - (I^2R)_s - P_{FE})s$$

avec $s = 1 - np/f$

où

P_1 , f et n sont les valeurs déterminées en 5.3.2;

$(I^2R)_s$ est conforme à 6.3.1.1;

P_{FE} est conforme à 6.2.3.

6.2.3 Core losses

For each of the voltage values between 60 % and 125 %, determine the constant losses P_k as described in 6.2.1 and plot the values in a curve against voltage U_0 . To compensate for the influence of the voltage drop in the resistance of the primary windings, the core losses at each load point shall be based on the reduced voltage U_r , which is obtained by the following approximation:

$$U_r = \sqrt{\left(U - \frac{\sqrt{3}}{2} IR \cos \varphi\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2} IR \sin \varphi\right)^2}$$

where

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{\sqrt{3} U I}$$

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}$$

U , I , P_1 and R are according to 5.3.2.

Determine the constant losses P_k for reduced voltage U_r at each load point. Subtract from this value the windage and friction losses P_f to determine the core losses P_{FE} .

$$P_{FE} = P_k - P_f$$

where P_f is according to 6.2.2.

6.3 Additional-load losses

6.3.1 Method 1: additional load losses from measurements

6.3.1.1 Stator winding losses

Determine the stator winding losses $(I^2 R)_s$ at each of the six load points measured in 5.3.2 using the equation

$$(I^2 R)_s = 1,5 I^2 R$$

where I and R are values determined in 5.3.2.

6.3.1.2 Rotor winding losses

Determine the rotor winding losses $(I^2 R)_r$ for each of the six load points using the equation:

$$(I^2 R)_r = (P_1 - (I^2 R)_s - P_{FE}) s$$

with $s = 1 - np/f$

where

P_1 , f and n are values determined in 5.3.2;

$(I^2 R)_s$ is according to 6.3.1.1;

P_{FE} is according to 6.2.3.

6.3.1.3 Puissance utile

Déterminer la puissance utile P_2 pour chacun des six points de charge en utilisant l'équation suivante:

$$P_2 = 2\pi Tn$$

où

$T = T_d + k_d$ avec k_d conforme à l'article C.3 (voir 4.2.3);

T_d et n sont conformes à 5.3.2.

6.3.1.4 Pertes résiduelles

Les pertes résiduelles P_L , telles que définies ci-dessous, doivent être déterminées séparément pour chaque point de charge en soustrayant de la puissance absorbée, la puissance utile, les pertes Joule statoriques à la valeur de résistance de l'essai, les pertes dans le fer, les pertes par ventilation et par frottement ainsi que les pertes Joule rotoriques correspondant à la valeur de glissement déterminée.

$$P_L = P_1 - P_2 - (I_2^2 R)_s - P_{FE} - P_f - (I_2^2 R)_r$$

où

P_1 est conforme à 5.3.2;

P_2 est conforme à 6.3.1.3;

$(I_2^2 R)_s$ est conforme à 6.3.1.1;

P_{FE} est conforme à 6.2.3;

P_f est conforme à 6.2.2;

$(I_2^2 R)_r$ est conforme à 6.3.1.2.

6.3.1.5 Lissage des données de pertes résiduelles

Les données de pertes résiduelles doivent être lissées en utilisant l'analyse de régression linéaire (voir l'Annexe B et la Figure 3) fondée sur l'expression des pertes en fonction du carré du couple de charge, selon la relation:

$$P_L = A T^2 + B$$

où

T est conforme à 6.3.1.3;

A et B sont des constantes conformes à l'Annexe B.

Lorsque le coefficient de corrélation γ est inférieur à 0,95, supprimer le point le plus défavorable et recommencer la régression. Si γ devient $\geq 0,95$, utiliser la seconde régression; si γ demeure à une valeur inférieure à 0,95, l'essai n'est pas satisfaisant, ce qui indique des erreurs d'appareil de mesure ou de lecture des résultats d'essai ou les deux à la fois. Il convient de rechercher et de corriger la source de l'erreur et de recommencer l'essai (5.3.2).

6.3.1.3 Output power

Determine the output power P_2 for each of the six load points using the equation:

$$P_2 = 2\pi Tn$$

where

$T = T_d + k_d$ with k_d according to clause C.3 (see 4.2.3);

T_d and n are according to 5.3.2.

6.3.1.4 Residual losses

The residual losses P_L , as defined below, shall be separately determined for each load point by subtracting from the input power, the output power, the stator winding losses at the resistance of the test, the core losses, the windage and friction losses, and the rotor winding losses corresponding to the determined value of slip.

$$P_L = P_1 - P_2 - (I^2R)_s - P_{FE} - P_f - (I^2R)_r$$

where

P_1 is according to 5.3.2;

P_2 is according to 6.3.1.3;

$(I^2R)_s$ is according to 6.3.1.1;

P_{FE} is according to 6.2.3;

P_f is according to 6.2.2;

$(I^2R)_r$ is according to 6.3.1.2.

6.3.1.5 Smoothing of the residual loss data

The residual loss data shall be smoothed by using the linear regression analysis (see Annex B and Figure 3) based on expressing the losses as a function of the square of the load torque according to the relationship

$$P_L = A T^2 + B$$

where

T is according to 6.3.1.3;

A and B are constants according to Annex B.

When the correlation coefficient γ is less than 0,95, delete the worst point and repeat the regression. If γ increases to $\geq 0,95$, use the second regression; if γ remains less than 0,95, the test is unsatisfactory, and errors in the instrumentation or test readings, or both, are indicated. The source of the error should be investigated and corrected, and the test (5.3.2) should be repeated.

6.3.1.6 Calcul des pertes supplémentaires en charge

Une fois la constante de pente (A) établie, on doit déterminer une valeur des pertes supplémentaires en charge P_{LL} pour chaque point de charge, au moyen de l'équation suivante:

$$P_{LL} = A T^2$$

où

T est conforme à 6.3.1.3;

A est conforme à 6.3.1.5.

6.3.2 Méthode 2: valeurs assignées des pertes supplémentaires en charge

La valeur des pertes supplémentaires en charge P_{LL} , à la charge assignée doit être déterminée comme pourcentage de la valeur de puissance absorbée P_1 au moyen de la courbe de la Figure 1.

Les valeurs de la courbe peuvent être décrites par les équations suivantes:

$$\begin{aligned} P_{LL} &= P_1 \times 0,025 && \text{pour } P_2 \leq 1 \text{ kW} \\ P_{LL} &= P_1 \times [0,025 - 0,005 \log_{10}(P_2)] && \text{pour } 1 \text{ kW} < P_2 < 10\,000 \text{ kW} \\ P_{LL} &= P_1 \times 0,005 && \text{pour } P_2 \geq 10\,000 \text{ kW} \end{aligned}$$

Pour des valeurs autres que la charge assignée, on doit poser l'hypothèse selon laquelle les pertes supplémentaires en charge varient en fonction du carré du courant primaire, diminué du carré du courant à vide.

6.4 Corrections de la température de fluide de refroidissement

6.4.1 Pertes Joule statoriques corrigées

Les pertes Joule statoriques corrigées, pour chacun des points de charge, sont déterminées sur la base de la résistance de l'enroulement statorique établie à partir de l'essai thermique de la charge assignée R_N corrigée à une température de fluide de refroidissement de référence de 25 °C.

$$(I^2 R)_{ss} = 1,5 I^2 R_s$$

où

I est conforme à 5.3.2;

R_s résulte de R_N tel que calculé en 5.3.1, et corrigé à la température du fluide de refroidissement de référence de 25 °C en utilisant:

$$R_s = R_N \frac{235 + \theta_N + 25 - \theta_a}{235 + \theta_N}$$

6.4.2 Pertes Joule rotoriques corrigées

Pour chacun des points de charge, on détermine la valeur des pertes Joule rotoriques corrigées, comme défini en 6.3.1.2 en utilisant la valeur de glissement pour chacun des points corrigée à la température du fluide de refroidissement de référence de 25 °C et en utilisant la valeur corrigée des pertes Joule statoriques (voir 6.4.1).

6.3.1.6 Obtaining the additional load losses

When the slope constant (A) is established, a value of additional load losses P_{LL} for each load point shall be determined by using the equation:

$$P_{LL} = A T^2$$

where

T is according to 6.3.1.3;

A is according to 6.3.1.5.

6.3.2 Method 2: additional load losses from assigned allowance

The value of additional load losses P_{LL} , at rated load shall be determined as a percentage of input power P_1 using the curve in Figure 1.

The values of the curve may be described by the following equations:

$$\begin{aligned} P_{LL} &= P_1 \times 0,025 && \text{for } P_2 \leq 1 \text{ kW} \\ P_{LL} &= P_1 \times [0,025 - 0,005 \log_{10}(P_2)] && \text{for } 1 \text{ kW} < P_2 < 10\,000 \text{ kW} \\ P_{LL} &= P_1 \times 0,005 && \text{for } P_2 \geq 10\,000 \text{ kW} \end{aligned}$$

For other than rated load, it shall be assumed that the additional load losses vary as the square of the primary current minus the square of the no-load current.

6.4 Reference coolant temperature corrections

6.4.1 Corrected stator winding losses

Corrected stator winding losses for each of the load points are determined using the stator winding resistance determined from the rated load thermal test R_N corrected to a reference coolant temperature of 25 °C.

$$(I^2 R)_{ss} = 1,5 I^2 R_s$$

where

I is according to 5.3.2;

R_s is from R_N according to 5.3.1, corrected to a reference coolant temperature of 25 °C by using:

$$R_s = R_N \frac{235 + \theta_N + 25 - \theta_a}{235 + \theta_N}$$

6.4.2 Corrected rotor winding losses

The corrected rotor winding losses for each of the load points are determined as in 6.3.1.2 using the value of slip for each of the points corrected to a reference coolant temperature of 25 °C and using the corrected value of the stator winding losses (see 6.4.1) for each load point.

$$(I^2R)_{rs} = (P_1 - (I^2R)_{ss} - P_{FE}) s_s$$

où

P_1 est conforme à 5.3.2;

$(I^2R)_{ss}$ est conforme à 6.4.1;

P_{FE} est conforme à 6.2.3;

s_s est le glissement corrigé à la température du fluide de refroidissement de référence de 25 °C;

en utilisant

$$s_s = s (R_s/R_N)$$

où

s est conforme à 5.3.2;

R_s est conforme à 6.4.1;

R_N est conforme à 5.3.1.

6.4.3 Puissance utile corrigée

La puissance utile corrigée pour chacun des points de charge est égale à la puissance absorbée mesurée moins les pertes totales corrigées pour le moteur.

$$P_2 = P_1 - P_{LL} - (I^2R)_{ss} - P_{FE} - P_f - (I^2R)_{rs}$$

où

P_1 est conforme à 5.3.2;

P_{LL} est conforme à 6.3.1.6 (méthode 1), ou 6.3.2 (méthode 2);

$(I^2R)_{ss}$ est conforme à 6.4.1;

P_{FE} est conforme à 6.2.3;

P_f est conforme à 6.2.2;

$(I^2R)_{rs}$ est conforme à 6.4.2.

6.5 Rendement

Déterminer le rendement η en pour cent à chacun des points de charge de 5.3.2 en utilisant l'équation suivante:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100$$

où

P_2 est conforme à 6.4.3;

P_1 est conforme à 5.3.2.

6.6 Rendement à des points de charge spécifiques

Déterminer le rendement à des points de charge spécifiques en traçant la courbe de rendement au moyen des valeurs déterminées en 6.5 en fonction de la puissance utile corrigée conformément à 6.4.3.

NOTE Pour une mesure précise des rendements en charge partielle, l'utilisation de capteurs de température dans l'enroulement est recommandée.

$$(I^2R)_{rs} = (P_1 - (I^2R)_{ss} - P_{FE}) s_s$$

where

P_1 is according to 5.3.2;

$(I^2R)_{ss}$ is according to 6.4.1;

P_{FE} is according to 6.2.3;

s_s is the slip corrected to a reference coolant temperature of 25 °C;

using

$$s_s = s (R_s/R_N)$$

where

s is according to 5.3.2;

R_s is according to 6.4.1;

R_N is according to 5.3.1.

6.4.3 Corrected output power

The corrected output power for each of the load points is equal to the measured input power minus the corrected total loss for the motor.

$$P_2 = P_1 - P_{LL} - (I^2R)_{ss} - P_{FE} - P_f - (I^2R)_{rs}$$

where

P_1 is according to 5.3.2;

P_{LL} is according to 6.3.1.6 (method 1), or 6.3.2 (method 2);

$(I^2R)_{ss}$ is according to 6.4.1;

P_{FE} is according to 6.2.3;

P_f is according to 6.2.2;

$(I^2R)_{rs}$ is according to 6.4.2.

6.5 Efficiency

Determine the efficiency η in percent at each of the load points in 5.3.2 using the equation

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100$$

where

P_2 is according to 6.4.3;

P_1 is according to 5.3.2.

6.6 Efficiency at specific load points

Determine the efficiency at specific load points by plotting efficiency using values determined in 6.5 against the corrected output power according to 6.4.3.

NOTE For accurate determination of part-load efficiencies, the use of temperature-sensitive devices in the winding is recommended.

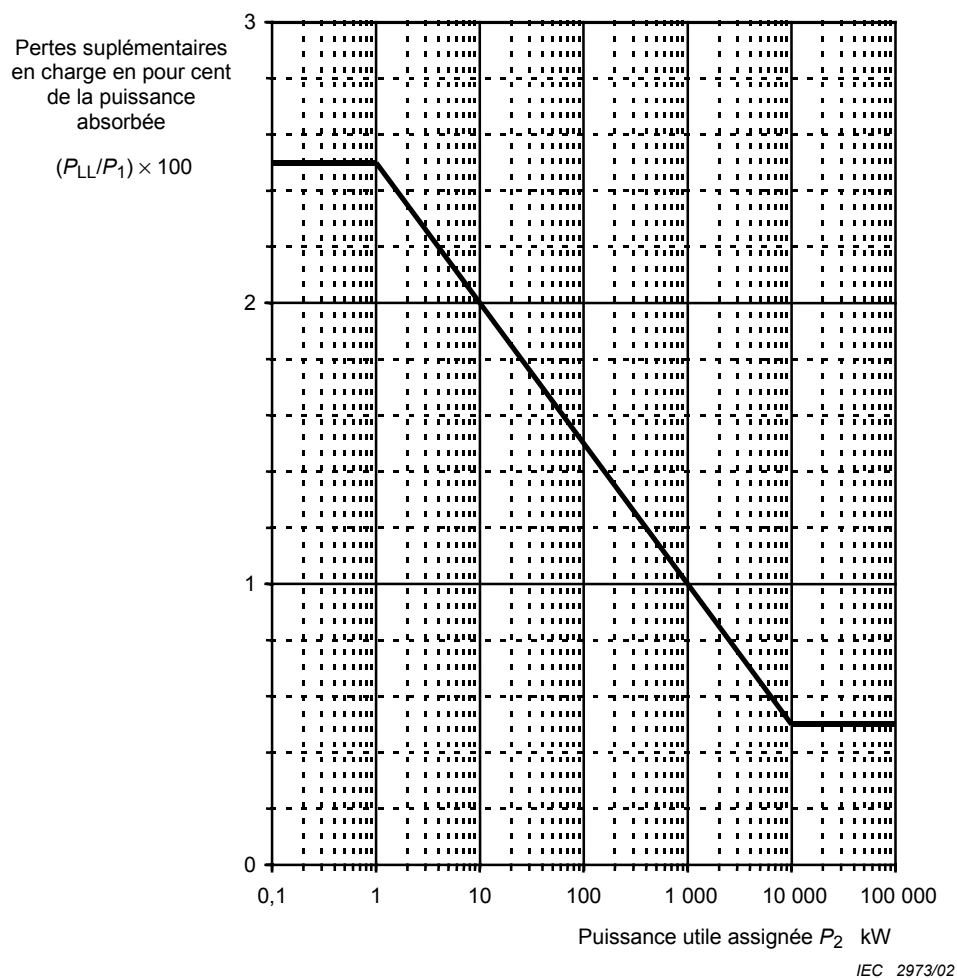


Figure 1 – Valeurs assignées des pertes supplémentaires en charge (méthode 2)

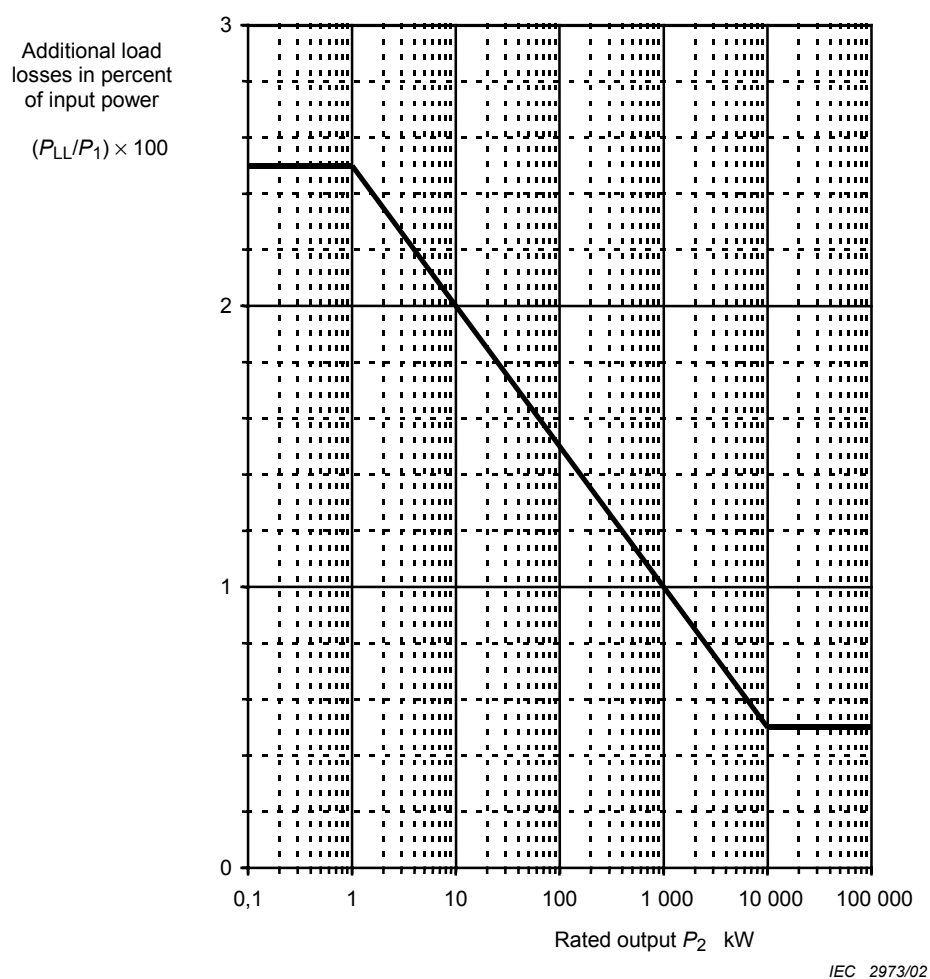


Figure 1 – Assigned allowance for additional load losses (method 2)

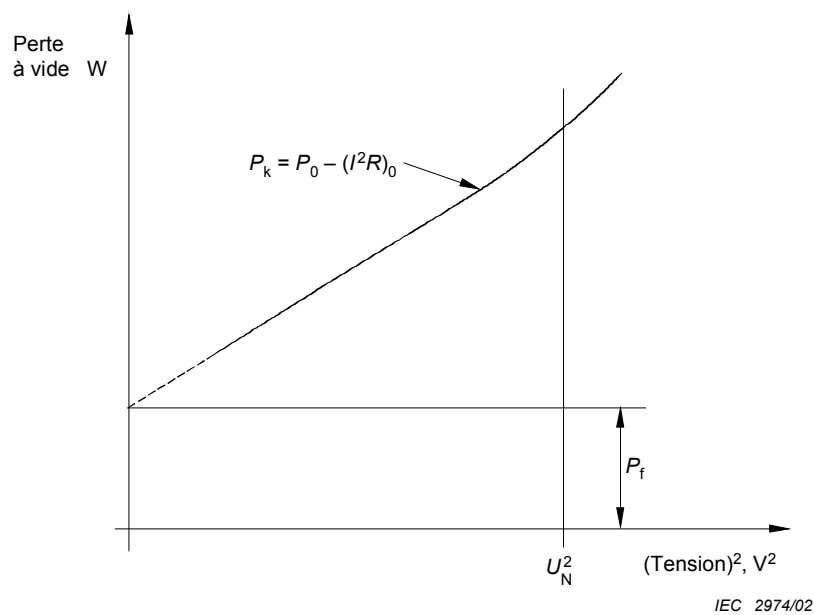


Figure 2 – Détermination des pertes à vide (voir 6.2) (exemple)

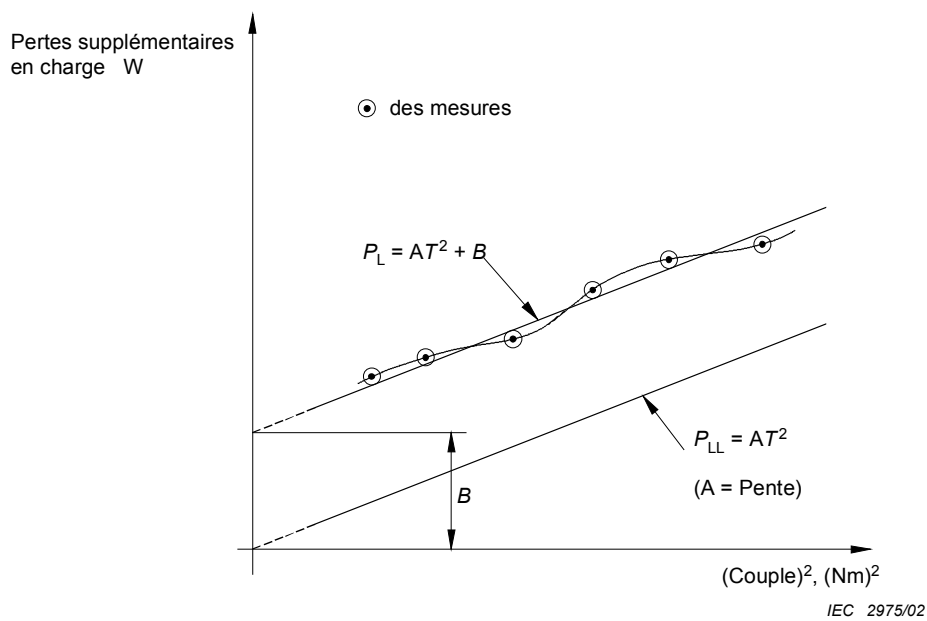


Figure 3 – Lissage des pertes supplémentaires en charge (voir 6.3.1.5) (exemple)

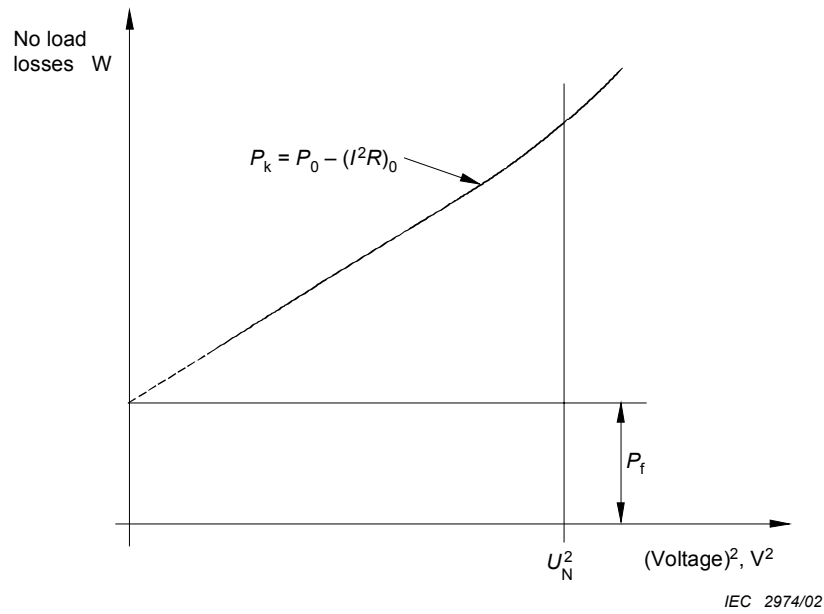


Figure 2 – Determination of no-load losses (see 6.2) (example)

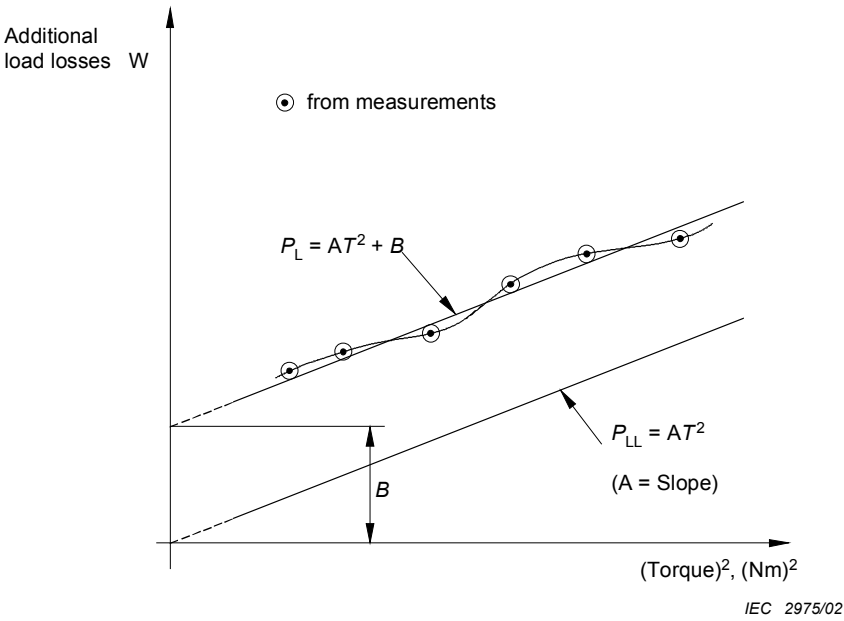


Figure 3 – Smoothing of the additional load losses (see 6.3.1.5) (example)

Annexe A (informative)

Formulaire recommandé pour le calcul du rendement du moteur

Ligne	Point d'essai	Source		1	2	3	4	5	6
		Méthode 1	Méthode 2						
1	Puissance absorbée P_1 , W	5.3.2	5.3.2						
2	Pertes Joule statoriques $(I^2R)_s$, W	6.3.1.1	–						
3	Pertes dans le fer P_{FE} , W	6.2.3	6.2.3						
4	Pertes par ventilation et frottement P_f , W	6.2.2	6.2.2						
5	Pertes Joule rotoriques $(I^2R)_r$, W	6.3.1.2	–						
6	Pertes supplémentaires en charge P_{LL} , W	6.3.1.6	6.3.2						
7	Pertes Joule statoriques corrigées $(I^2R)_{ss}$, W	6.4.1	6.4.1						
8	Pertes Joule rotoriques corrigées $(I^2R)_{rs}$, W	6.4.2	6.4.2						
9	Puissance utile corrigée P_2 , W	6.4.3	6.4.3						
10	Rendement η	6.5	6.5						

Annex A (informative)

Recommended form for calculation of motor efficiency

Line	Test point	Source		1	2	3	4	5	6
		Method 1	Method 2						
1	Input power P_1 , W	5.3.2	5.3.2						
2	Stator winding losses $(I^2R)_s$, W	6.3.1.1	–						
3	Core losses P_{FE} , W	6.2.3	6.2.3						
4	Windage and friction losses P_f , W	6.2.2	6.2.2						
5	Rotor winding losses $(I^2R)_r$, W	6.3.1.2	–						
6	Additional-load losses P_{LL} , W	6.3.1.6	6.3.2						
7	Corrected stator winding losses $(I^2R)_{ss}$, W	6.4.1	6.4.1						
8	Corrected rotor winding losses $(I^2R)_{rs}$, W	6.4.2	6.4.2						
9	Corrected output power P_2 , W	6.4.3	6.4.3						
10	Efficiency η	6.5	6.5						

Annexe B (informative)

Analyse de régression linéaire

B.1 Généralités

Le but de la régression est de trouver une relation mathématique entre deux ensembles de variables de façon à ce que la valeur d'une variable puisse être utilisée pour prédire la valeur de l'autre variable. La régression linéaire suppose que les deux variables ont une relation linéaire; en d'autres termes, le graphe des valeurs appairées de deux variables (X_i , Y_i) est une quasi-droite. La qualité de l'ajustement de ces valeurs sur la droite est indiquée par le coefficient de corrélation (γ).

B.2 Mode opératoire

B.2.1 Préparation des données

Compléter le tableau suivant:

Formulaire d'enregistrement des données de régression linéaire

Ligne	T^2	P_L	$(T^2)^2$	$(P_L)^2$	$P_L \times T^2$
1					
2					
3					
4					
5					
6					
	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ

où

T est le couple utile déterminé en 6.3.1.3, et

P_L représente les pertes résiduelles déterminées en 6.3.1.4.

B.2.2 Détermination de la pente A

En utilisant les cumuls obtenus en B.2.1, la pente est déterminée par la formule suivante:

$$A = \frac{i \sum ((P_L)(T^2)) - \sum P_L \sum T^2}{i \sum (T^2)^2 - (\sum T^2)^2}$$

où i est le nombre de lignes additionnées.

Annex B (informative)

Linear regression analysis

B.1 General

The purpose of regression is to find a mathematical relationship between two sets of variables, so that the value of one variable can be used to predict the value of the other. Linear regression assumes that the two variables are related linearly; that is, if paired values of the two variables (X_i , Y_i) are plotted, the points will nearly fit a straight line. How well these paired values fit the line is indicated by the correlation coefficient (γ).

B.2 Procedure

B.2.1 Preparation of data

Complete the following table:

Linear regression data work sheet

Line	T^2	P_L	$(T^2)^2$	$(P_L)^2$	$P_L \times T^2$
1					
2					
3					
4					
5					
6					
	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ

where

T is the output torque determined in 6.3.1.3, and

P_L represents the residual losses determined in 6.3.1.4.

B.2.2 Determination of slope A

Using the summations from B.2.1, determine the slope according to:

$$A = \frac{i \sum ((P_L)(T^2)) - \sum P_L \sum T^2}{i \sum (T^2)^2 - (\sum T^2)^2}$$

where i is the number of lines summed.

B.2.3 Détermination de l'intersection B

En utilisant les cumuls des valeurs obtenues en B.2.1, déterminer l'intersection selon la formule suivante:

$$B = \frac{\sum P_L}{i} - A \frac{\sum T^2}{i}$$

B.2.4 Détermination du coefficient de corrélation

En utilisant les cumuls des valeurs obtenues en B.2.1, déterminer le coefficient de corrélation selon la formule suivante:

$$\gamma = \frac{i \sum (P_L T^2) - (\sum P_L)(\sum T^2)}{\sqrt{(i \sum (T^2)^2 - (\sum T^2)^2)(i \sum P_L^2 - (\sum P_L)^2)}}$$

B.2.3 Determination of intercept B

Using the summations from B.2.1, determine the intercept according to:

$$B = \frac{\sum P_L}{i} - A \frac{\sum T^2}{i}$$

B.2.4 Determination of correlation coefficient

Using the summations from B.2.1 determine the correlation coefficient according to:

$$\gamma = \frac{i \sum (P_L T^2) - (\sum P_L)(\sum T^2)}{\sqrt{(i \sum (T^2)^2 - (\sum T^2)^2)(i \sum P_L^2 - (\sum P_L)^2)}}$$

Annexe C (normative)

Correction des valeurs de couples dynamométriques mesurées

Cette méthode de correction s'applique également si un palier est intercalé entre le dispositif de mesure de couple et l'arbre du moteur.

C.1 Correction à partir de l'essai avec le moteur fonctionnant à vide

C.1.1 Dynamomètre accouplé

Faire fonctionner le moteur à tension et fréquence assignées, accouplé au dynamomètre, celui-ci étant hors tension.

Mesurer et enregistrer P_{d0} , I , n_{d0} , T_{d0} et R ou la température θ (avec R déduit des mesures d'essai) et déterminer s_{d0} .

Déterminer

$$(I^2R)_d = 1,5 I^2R$$

C.1.2 Moteur découplé

Faire fonctionner le moteur à tension et fréquence assignées, découplé du dynamomètre.

Mesurer et enregistrer P_0 , I_0 et R ou la température θ (avec R déduit des mesures d'essai), et déterminer s_0 .

Déterminer

$$(I^2R)_0 = 1,5 I^2R$$

C.1.3 Correction du dynamomètre

Déterminer la correction du couple dynamométrique k_d en Nm

$$k_d = \frac{(P_{d0} - (I^2R)_d - P_{FE})(1 - s_{d0}) - (P_0 - (I^2R)_0 - P_{FE})(1 - s_0)}{2 \pi n} - T_{d0}$$

où

n , P_{d0} , $(I^2R)_d$, s et T_{d0} sont tirés de C.1.1;

P_0 et $(I^2R)_0$ sont tirés de C.1.2, et

P_{FE} est tiré de 6.2.3.

NOTE En pratique, T_{d0} est essentiellement compensé par étalonnage du dynamomètre, de telle manière que la lecture sur le dynamomètre soit 0 lorsque le couple de l'arbre est 0.

Annex C (normative)

Correction of dynamometer torque readings

This correction method also applies if any bearing is interposed between the torque measuring device and the motor shaft.

C.1 Correction from the test with the motor running at no-load

C.1.1 Dynamometer coupled

Run the motor at rated voltage and frequency, coupled to the dynamometer with the dynamometer de-energized.

Measure and record P_{d0} , I , n_{d0} , T_{d0} and R or temperature θ (with R derived from the test measurements) and determine s_{d0} .

Determine

$$(I^2R)_d = 1,5 I^2R$$

C.1.2 Motor uncoupled

Run the motor at rated voltage and frequency, uncoupled from the dynamometer.

Measure and record P_0 , I_0 and R or temperature θ (with R derived from the test measurements), and determine s_0 .

Determine

$$(I^2R)_0 = 1,5 I^2R$$

C.1.3 Dynamometer correction

Determine dynamometer torque correction k_d in N·m

$$k_d = \frac{(P_{d0} - (I^2R)_d - P_{FE})(1 - s_{d0}) - (P_0 - (I^2R)_0 - P_{FE})(1 - s_0)}{2 \pi n} - T_{d0}$$

where

n , P_{d0} , $(I^2R)_d$, s and T_{d0} are from C.1.1,

P_0 and $(I^2R)_0$ are from C.1.2, and

P_{FE} is from 6.2.3.

NOTE In practice, T_{d0} is mostly compensated by calibration of the dynamometer, so that the dynamometer reading is 0 when the shaft torque is 0.

C.2 Correction à partir de l'essai avec moteur découplé

Désaccoupler le moteur soumis aux essais; il faut que le dispositif de couplage soit couplé avec l'arbre du dynamomètre. Faire fonctionner le dynamomètre comme un moteur, avec refroidissement extérieur, le cas échéant. La correction du dynamomètre k_d est égale au couple mesuré, avec des vitesses n correspondantes à chacun des points de charge.

NOTE Cet essai est impossible avec des dispositifs de charge agissant comme charge mécanique uniquement, par exemple dynamomètres à courant de Foucault.

C.3 Calcul du couple corrigé

Calculer la valeur corrigée T du couple en ajoutant k_d à la valeur lue du dynamomètre.

C.2 Correction from the test with the uncoupled motor

Uncouple the tested motor; the coupling device must be coupled with the shaft of the dynamometer. Run the dynamometer as a motor, with external cooling, if any. The dynamometer correction k_d is equal to the measured torque, with speeds n the same as under load at each of the load points.

NOTE This test is not possible with loading devices acting as a mechanical load only, for example, eddy current dynamometers.

C.3 Calculation of the corrected torque

Calculate the corrected value T of torque by adding k_d to the dynamometer reading.



Standards Survey

The IEC would like to offer you the best quality standards possible. To make sure that we continue to meet your needs, your feedback is essential. Would you please take a minute to answer the questions overleaf and fax them to us at +41 22 919 03 00 or mail them to the address below. Thank you!

Customer Service Centre (CSC)

International Electrotechnical Commission

3, rue de Varembé

1211 Genève 20

Switzerland

or

Fax to: **IEC/CSC** at +41 22 919 03 00

Thank you for your contribution to the standards-making process.

A Prioritaire

Nicht frankieren
Ne pas affranchir



Non affrancare
No stamp required

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Customer Service Centre (CSC)

International Electrotechnical Commission

3, rue de Varembé

1211 GENEVA 20

Switzerland



Q1 Please report on **ONE STANDARD** and **ONE STANDARD ONLY**. Enter the exact number of the standard: (e.g. 60601-1-1)

.....

Q2 Please tell us in what capacity(ies) you bought the standard (tick all that apply). I am the/a:

- purchasing agent ☐
 librarian ☐
 researcher ☐
 design engineer ☐
 safety engineer ☐
 testing engineer ☐
 marketing specialist ☐
 other.....

Q3 I work for/in/as a:
(tick all that apply)

- manufacturing ☐
 consultant ☐
 government ☐
 test/certification facility ☐
 public utility ☐
 education ☐
 military ☐
 other.....

Q4 This standard will be used for:
(tick all that apply)

- general reference ☐
 product research ☐
 product design/development ☐
 specifications ☐
 tenders ☐
 quality assessment ☐
 certification ☐
 technical documentation ☐
 thesis ☐
 manufacturing ☐
 other.....

Q5 This standard meets my needs:
(tick one)

- not at all ☐
 nearly ☐
 fairly well ☐
 exactly ☐

Q6 If you ticked NOT AT ALL in Question 5 the reason is: (tick all that apply)

- standard is out of date ☐
 standard is incomplete ☐
 standard is too academic ☐
 standard is too superficial ☐
 title is misleading ☐
 I made the wrong choice ☐
 other

Q7 Please assess the standard in the following categories, using the numbers:

- (1) unacceptable,
 (2) below average,
 (3) average,
 (4) above average,
 (5) exceptional,
 (6) not applicable

- timeliness.....
 quality of writing.....
 technical contents.....
 logic of arrangement of contents
 tables, charts, graphs, figures.....
 other

Q8 I read/use the: (tick one)

- French text only ☐
 English text only ☐
 both English and French texts ☐

Q9 Please share any comment on any aspect of the IEC that you would like us to know:

.....





Enquête sur les normes

La CEI ambitionne de vous offrir les meilleures normes possibles. Pour nous assurer que nous continuons à répondre à votre attente, nous avons besoin de quelques renseignements de votre part. Nous vous demandons simplement de consacrer un instant pour répondre au questionnaire ci-après et de nous le retourner par fax au +41 22 919 03 00 ou par courrier à l'adresse ci-dessous. Merci !

Centre du Service Clientèle (CSC)

Commission Electrotechnique Internationale

3, rue de Varembé

1211 Genève 20

Suisse

ou

Télécopie: **CEI/CSC** +41 22 919 03 00

Nous vous remercions de la contribution que vous voudrez bien apporter ainsi à la Normalisation Internationale.

A Prioritaire

Nicht frankieren
Ne pas affranchir



Non affrancare
No stamp required

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Centre du Service Clientèle (CSC)

Commission Electrotechnique Internationale

3, rue de Varembé

1211 GENÈVE 20

Suisse



Q1 Veuillez ne mentionner qu'**UNE SEULE NORME** et indiquer son numéro exact:
(ex. 60601-1-1)
.....

Q2 En tant qu'acheteur de cette norme, quelle est votre fonction?
(cochez tout ce qui convient)
Je suis le/un:

- agent d'un service d'achat ☐
bibliothécaire ☐
chercheur ☐
ingénieur concepteur ☐
ingénieur sécurité ☐
ingénieur d'essais ☐
spécialiste en marketing ☐
autre(s).....

Q3 Je travaille:
(cochez tout ce qui convient)

- dans l'industrie ☐
comme consultant ☐
pour un gouvernement ☐
pour un organisme d'essais/
certification ☐
dans un service public ☐
dans l'enseignement ☐
comme militaire ☐
autre(s).....

Q4 Cette norme sera utilisée pour/comme
(cochez tout ce qui convient)

- ouvrage de référence ☐
une recherche de produit ☐
une étude/développement de produit ☐
des spécifications ☐
des soumissions ☐
une évaluation de la qualité ☐
une certification ☐
une documentation technique ☐
une thèse ☐
la fabrication ☐
autre(s).....

Q5 Cette norme répond-elle à vos besoins:
(une seule réponse)

- pas du tout ☐
à peu près ☐
assez bien ☐
parfaitement ☐

Q6 Si vous avez répondu PAS DU TOUT à Q5, c'est pour la/les raison(s) suivantes:
(cochez tout ce qui convient)

- la norme a besoin d'être révisée ☐
la norme est incomplète ☐
la norme est trop théorique ☐
la norme est trop superficielle ☐
le titre est équivoque ☐
je n'ai pas fait le bon choix ☐
autre(s)

Q7 Veuillez évaluer chacun des critères ci-dessous en utilisant les chiffres
(1) inacceptable,
(2) au-dessous de la moyenne,
(3) moyen,
(4) au-dessus de la moyenne,
(5) exceptionnel,
(6) sans objet

- publication en temps opportun
qualité de la rédaction.....
contenu technique
disposition logique du contenu
tableaux, diagrammes, graphiques,
figures
autre(s)

Q8 Je lis/utilise: (une seule réponse)

- uniquement le texte français ☐
uniquement le texte anglais ☐
les textes anglais et français ☐

Q9 Veuillez nous faire part de vos observations éventuelles sur la CEI:

-
.....
.....
.....
.....
.....



ISBN 2-8318-6749-5



ICS 29.160.01
