

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61986

Première édition
First edition
2002-01

**Machines électriques tournantes –
Charge équivalente et techniques
par superposition –
Essais indirects pour déterminer
l'échauffement**

**Rotating electrical machines –
Equivalent loading and super-position
techniques –
Indirect testing to determine
temperature rise**

<https://standards.iteh.ai/en/standards/iec/iec2dca2a-3f61-48f6-9d06-bf62a2c2c8f/iec-61986-2002>



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61986:2002

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 (www.iec.ch/catlg-f.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 (www.iec.ch/JP.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 (www.iec.ch/catlg-e.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 (www.iec.ch/JP.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

61986

Première édition
First edition
2002-01

**Machines électriques tournantes –
Charge équivalente et techniques
par superposition –
Essais indirects pour déterminer
l'échauffement**

**Rotating electrical machines –
Equivalent loading and super-position
techniques –
Indirect testing to determine
temperature rise**

© 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
Telefax: +41 22 919 0300

e-mail: inmail@iec.ch

3, rue de Varembe Geneva, Switzerland
IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

T

*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 Symboles et unités	8
4 Exigences générales d'essai	10
5 Principe des essais par superposition.....	10
5.1 Généralités.....	10
5.2 Echauffement admissible dans les essais par superposition	12
6 Méthodes par superposition pour les moteurs à induction.....	14
6.1 Méthode de la tension réduite et du courant assigné	14
6.2 Méthode à tension assignée et à courant réduit.....	18
6.3 Méthode pour les moteurs à induction à rotor bobiné.....	20
7 Méthodes par superposition pour machines synchrones.....	20
7.1 Méthode de circuit ouvert, de court-circuit et d'excitation nulle.....	20
7.2 Méthode de charge à facteur de puissance nul et à circuit ouvert.....	22
8 Méthode par superposition pour les machines à courant continu	24
9 Principe d'essais de charge équivalente.....	24
9.1 Généralités.....	24
9.2 Echauffement admissible lors des essais de charge équivalente.....	26
10 Essais de charge équivalente pour les moteurs à induction.....	26
10.1 Essai de court-circuit direct.....	26
10.2 Méthode de la fréquence modulée.....	28
10.3 Injection de courant continu.....	30
10.4 Méthode de fréquence mixte ou de fréquence double.....	32
11 Essai de charge équivalente pour machines synchrones – Facteur de puissance nul.....	34
Figure 1 – Méthode par superposition graphique pour moteurs à induction	38
Figure 2 – Calcul de l'échauffement d'excitation à charge assignée(machines synchrones).....	40
Figure 3 – Circuit d'essai pour essai de charge équivalente à injection de courant continu	42
Figure 4 – Essai à fréquence mixte – Génératrices en série.....	42
Figure 5 – Essai à fréquence mixte – Transformateur en série.....	44
Figure 6 – Combinaison de couple et de courant au point de fonctionnement dans les essais à fréquence mixte.....	44
Figure 7 – Méthode d'alimentation rotorique à fréquence mixte.....	46

CONTENTS

FOREWORD.....	5
1 Scope.....	7
2 Normative references.....	7
3 Symbols and units.....	9
4 General test requirements.....	11
5 Principle of superposition tests.....	11
5.1 General.....	11
5.2 Permissible temperature rise at superposition tests.....	13
6 Superposition methods for induction motors.....	15
6.1 Method of reduced voltage and rated current.....	15
6.2 Method of rated voltage and reduced current.....	19
6.3 Method for wound-rotor induction motors.....	21
7 Superposition methods for synchronous machines.....	21
7.1 Method of open circuit, short circuit, zero excitation.....	21
7.2 Method of zero power factor and open circuit loading.....	23
8 Superposition method for d.c. machines.....	25
9 Principle of equivalent load tests.....	25
9.1 General.....	25
9.2 Permissible temperature rise at equivalent load tests.....	27
10 Equivalent load tests for induction motors.....	27
10.1 Forward short-circuit test.....	27
10.2 Modulated frequency method.....	29
10.3 DC injection.....	31
10.4 Mixed-frequency or bi-frequency method.....	33
11 Equivalent load test for synchronous machines – Zero power factor.....	35
Figure 1 – Graphical superposition method for induction motors.....	39
Figure 2 – Derivation of field temperature rise at rated load (synchronous machines).....	41
Figure 3 – Test circuit for d.c.-injection equivalent load test.....	43
Figure 4 – Mixed-frequency test – Generators in series.....	43
Figure 5 – Mixed-frequency test – Series transformer.....	45
Figure 6 – Combination of torque and current at the operating point in a mixed-frequency test.....	45
Figure 7 – Rotor-feeding mixed-frequency method.....	47

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES – CHARGE ÉQUIVALENTE ET TECHNIQUES PAR SUPERPOSITION – ESSAIS INDIRECTS POUR DÉTERMINER L'ÉCHAUFFEMENT

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Électrotechnique 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 61986 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/115/FDIS	2G/121/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 3.

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

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**ROTATING ELECTRICAL MACHINES –
EQUIVALENT LOADING AND SUPER-POSITION TECHNIQUES –
INDIRECT TESTING TO DETERMINE TEMPERATURE RISE**

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 61986 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/115/FDIS	2G/121/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 3.

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

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

MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES – CHARGE ÉQUIVALENTE ET TECHNIQUES PAR SUPERPOSITION – ESSAIS INDIRECTS POUR DÉTERMINER L'ÉCHAUFFEMENT

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale s'applique aux machines couvertes par la CEI 60034-1 lorsque, pour une raison quelconque, il est impossible de les soumettre à une charge d'une condition spécifique (assignée ou autre). Elle est applicable tant aux moteurs qu'aux génératrices mais ces méthodes ne sont pas appropriées aux machines d'une puissance égale ou inférieure à 1 kW.

La présente norme a pour objet de décrire différents essais en charge indirects destinés à déterminer l'échauffement des machines électriques tournantes, y compris les machines à induction à courant alternatif, les machines synchrones à courant alternatif et les machines à courant continu. Dans certains cas, les méthodes d'essai permettent en outre de mesurer ou d'estimer d'autres paramètres tels que les pertes et les vibrations, mais ces méthodes ne sont pas conçues spécifiquement pour fournir de telles données.

Les méthodes d'essai proposées sont considérées comme équivalentes, le choix dépendant uniquement de l'emplacement, des appareils d'essai, du type de machine et de l'exactitude des résultats d'essai.

La présente norme n'est pas destinée à être interprétée comme une exigence de réaliser un ou tous les essais qu'elle décrit sur une quelconque machine donnée. Les essais particuliers à réaliser font l'objet d'accords spéciaux entre le fabricant et l'acheteur.

Etant donné que les méthodes ne reproduisent qu'approximativement les conditions thermiques des machines observées dans les conditions assignées normales, le fabricant et l'acheteur peuvent convenir de prendre les résultats des mesurages de l'échauffement obtenus lors d'essais réalisés selon ces méthodes comme base pour l'évaluation de l'échauffement de la machine conformément à 7.10 de la CEI 60034-1.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Pour les références datées, les amendements ultérieurs ou les révisions de ces publications ne s'appliquent pas. Toutefois, les parties prenantes aux accords fondés sur la présente Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Pour les références non datées, la dernière édition du document normatif en référence s'applique. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

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

CEI 60034-2, *Machines électriques tournantes – Partie 2: 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)*

ROTATING ELECTRICAL MACHINES – EQUIVALENT LOADING AND SUPER-POSITION TECHNIQUES – INDIRECT TESTING TO DETERMINE TEMPERATURE RISE

1 Scope

This International Standard applies to machines covered by IEC 60034-1 when they cannot be loaded to a specific condition (rated or otherwise) for whatever reason. It is applicable to both motors and generators but the methods are not suitable for machines of and below 1 kW.

The object of this standard is to provide descriptions of various indirect load tests, the purpose of which is to determine the temperature rise of rotating electrical machines, including a.c. induction machines, a.c. synchronous machines and d.c. machines. The test methods in some cases provide, in addition, a means of measuring or estimating other parameters such as losses and vibration, but the methods are not designed specifically to provide such data.

The proposed methods of test are considered equivalent, the choice of them relying only on the location, the testing apparatus and the kind of machine, and the test result accuracy.

It is not intended that this standard be interpreted as requiring the carrying out of any or all of the tests described therein on any given machine. The particular tests to be carried out are subject to a special agreement between the manufacturer and the purchaser.

As the methods reproduce only approximately the thermal conditions of the machines which occur under normal rated condition, temperature-rise measurement results achieved from tests with these methods can be taken as the basis for the evaluation of machine heating according to 7.10 of IEC 60034-1 by agreement between the manufacturer and the purchaser.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this International Standard. For dated references, subsequent amendments to, or revisions of, any of these publications do not apply. However, parties to agreements based on this International Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. For undated references, the latest edition of the normative document referred to applies. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

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

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

3 Symboles et unités

$K_{11}, K_{22}, \text{etc.}$	coefficient de pertes thermiques déterminant l'échauffement du composant 1 dû à des pertes dans le composant 1, etc., K/W
$K_{12}, K_{13}, \text{etc.}$	coefficient de pertes thermiques déterminant l'échauffement du composant 1 dû à des pertes dans le composant 2, etc., K/W
$\Delta\theta$	échauffement, K
θ	température, °C
K	facteur d'inclinaison de la ligne droite qui caractérise la variation de l'échauffement en fonction des pertes, K/W
P	perte, W
I	courant, A
R	résistance, Ω
X_L	réactance de fuite statorique, Ω
V	tension, V
f	fréquence, Hz
ω	pulsation, rad/s
$f_{1,2}$	fréquence principale/auxiliaire, Hz
Δt	intervalle de temps, s
λ	rapport de la tension auxiliaire à la tension principale
F	fréquence de modulation, Hz
δ	amplitude de la modulation de fréquence, Hz
T	couple, Nm
J	moment d'inertie, kgm^2
$\cos\varphi$	facteur de puissance
γ	exactitude de l'essai, %
σ	facteur de correction
Indices	
m, n, o, p	conditions d'essai
1, 2, 3, etc.	composant de machine (par exemple enroulement statorique, enroulement rotorique, fer statorique, etc.)
t	essai
f	excitation
A	ambient
s	stator
N	valeur assignée
α	surexcité/circuit ouvert
β	sous-excité/court-circuit.
super	essai par superposition
equiv	essai de charge équivalente

3 Symbols and units

K_{11}, K_{22} , etc.	coefficient of heating losses determining the temperature rise of component 1 due to losses in component 1, etc., K/W
K_{12}, K_{13} , etc.	coefficient of heating losses determining the temperature rise of component 1 due to losses in component 2, etc., K/W
$\Delta\theta$	temperature rise, K
θ	temperature, °C
K	slope factor of the straight line characterizing variation of temperature rise with losses, K/W
P	loss, W
I	current, A
R	resistance, Ω
X_L	stator leakage reactance, Ω
V	voltage, V
f	frequency, Hz
ω	angular frequency, rad/s
$f_{1,2}$	main/auxiliary frequency, Hz
Δt	time interval, s
λ	ratio of auxiliary voltage to main voltage
F	modulation frequency, Hz
δ	amplitude of frequency modulation, Hz
T	torque, Nm
J	moment of inertia, kgm^2
$\cos\varphi$	power factor
γ	test accuracy, %
σ	correction factor
Subscripts	
m, n, o, p	test conditions
1, 2, 3, etc.	machine component (for example, stator winding, rotor winding, stator core, etc.)
t	test
f	field
A	ambient
s	stator
N	rated value
α	overexcited/open-circuit
β	underexcited/short-circuit
super	superposition test
equiv	equivalent load test

4 Exigences générales d'essai

Les paramètres électriques doivent être mesurés de la façon suivante.

- a) La classe d'exactitude des appareils de mesure ne doit pas être supérieure à 0,2, à l'exception des wattmètres avec un facteur $\cos\phi$ inférieur à 0,5 et des fréquencemètres dont la classe d'exactitude peut être de 0,5.
- b) L'étendue de mesure des appareils doit être choisie par rapport à des valeurs mesurées supérieures à 30 % de la pleine échelle. Il n'est pas nécessaire de satisfaire à cette exigence pour le mesurage de courant triphasé réalisé au moyen de deux wattmètres, mais les valeurs des courants et des tensions dans les circuits mesurés doivent être d'au moins 20 % des courants et tensions assignés des wattmètres utilisés. L'étendue de mesure des autres appareils de mesure doit être choisie de manière à ne pas augmenter les erreurs de mesure.
- c) La forme d'onde et l'asymétrie de la tension d'alimentation aux bornes de la machine doivent être conformes aux exigences de 6.1 à 6.5 de la CEI 60034-1.
- d) Chaque courant de ligne doit être mesuré. Si ces courants sont inégaux, la moyenne arithmétique doit être utilisée pour déterminer le point de fonctionnement de la machine.
- e) La puissance absorbée d'une machine triphasée peut être mesurée au moyen de deux wattmètres monophasés montés comme pour la méthode des deux wattmètres ou au moyen d'un wattmètre polyphasé ou de trois wattmètres monophasés. La puissance totale relevée sur un wattmètre doit être réduite de la perte par effet Joule dans les circuits de tension ou dans les circuits de courant des appareils selon leur montage, chaque fois que cette perte est une fraction mesurable de la puissance totale. Pour les appareils de mesure numériques, il n'est pas nécessaire de déduire les pertes par effet Joule de la puissance totale relevée sur le wattmètre.

Toutes les grandeurs électriques à mesurer sont, sauf spécification contraire, des valeurs efficaces.

5 Principe des essais par superposition

5.1 Généralités

Les essais par superposition peuvent être appliqués à toute machine à courant continu ou alternatif. La méthode consiste en une série d'essais réalisés dans des conditions de fonctionnement autres qu'à la charge assignée, par exemple à charge réduite, à vide, en court-circuit, à tension réduite, à charge réactive en avant (sous-excité) ou en retard (surexcité) de phase.

La méthode permet de déduire l'échauffement des différents composants de la machine à pleine charge. Pour chaque composant, la perte doit être connue pour chaque condition d'essai donnée et à pleine charge. Il convient de réaliser les essais avec des conditions de refroidissement identiques aux conditions en fonctionnement à charge assignée. Un essai de rotor bloqué n'est par conséquent pas approprié puisque la répartition et les amplitudes du flux d'air seraient incorrects.

A l'issue des différents essais individuels, une série d'équations est construite, chaque équation étant du type:

$$\Delta\theta_{1m} = K_{11}P_{1m} + K_{12}P_{2m} + K_{13}P_{3m}$$

où

$\Delta\theta_{1m}$ est l'échauffement mesuré du composant 1 pour l'essai m;

$P_{1m}, P_{2m}, \text{ etc.}$ est la perte dans le composant 1, 2, etc. pour la condition d'essai m;

$K_{11}, K_{12}, \text{ etc.}$ sont les coefficients de pertes thermiques déterminant l'échauffement du composant 1 dû aux pertes dans le composant 1 et l'échauffement dans le composant 1 dû aux pertes dans le composant 2, etc.

4 General test requirements

Measurement of the electrical parameters shall be made as follows.

- a) The class of accuracy of measuring instruments shall be not greater than 0,2, with the exception of wattmeters with $\cos\phi$ lower than 0,5 and frequency meters, which may have accuracy class 0,5.
- b) The measuring range of the instruments shall be chosen with a view to the measured values being higher than 30 % of the full-scale range. These requirements need not be complied with in the case of the three-phase power measurement by means of two wattmeters, but the currents and voltages in the measured circuits shall be at least 20 % of the rated currents and voltages of the wattmeters being used. The range of the other measuring instruments shall be chosen in such a way that the measuring errors are not increased.
- c) The waveform and dissymmetry of the supply voltage at the machine terminals shall be in accordance with the requirements of 6.1 to 6.5 of IEC 60034-1.
- d) Each line current shall be measured. If these are unequal, the arithmetic average value shall be used to determine the machine operating point.
- e) Power input to a three-phase machine may be measured by two single-phase wattmeters connected as in the two-wattmeter method, or one polyphase wattmeter, or three single-phase wattmeters. The total power read on a wattmeter shall be reduced by the amount of the I^2R loss in the voltage circuits or in the current circuits of the instruments according to their connection whenever this loss is a measurable portion of the total power. There is no need to reduce the total power read on a wattmeter by the amount of the I^2R losses for digital measuring instruments.

All the electrical quantities to be measured are root-mean-square values unless otherwise indicated.

5 Principle of superposition tests

5.1 General

Superposition tests may be applied to any d.c. or a.c. machine. The method comprises a series of tests at operating conditions other than rated load, for example, reduced load, no load, short circuit, reduced voltage, leading (underexcited) or lagging (overexcited) reactive load.

The method allows the full-load temperature rise of various component parts of the machine to be deduced. For each component, the loss shall be known at each particular test condition and at full load. The tests should be undertaken with cooling conditions the same as when operating at rated load. Hence, a locked rotor test will not be suitable as the air-flow distribution and magnitudes will be incorrect.

On completion of the individual tests, a series of equations is constructed, each equation being of the form:

$$\Delta\theta_{1m} = K_{11}P_{1m} + K_{12}P_{2m} + K_{13}P_{3m}$$

where

$\Delta\theta_{1m}$ is the measured temperature rise of component 1 for test m;

P_{1m}, P_{2m} etc. is the loss in component 1, 2, etc. for test condition m;

K_{11}, K_{12} , etc. are the coefficients of heating losses determining the temperature rise of component 1 due to losses in component 1, and the temperature rise of component 1 due to losses in component 2, etc.

Les composants 1, 2 et 3 peuvent par exemple être l'enroulement statorique, le fer statorique et l'enroulement rotorique.

Dans certaines conditions d'essai, des pertes peuvent être égales à zéro et le terme associé disparaît par conséquent dans l'équation. Pour une machine synchrone par exemple, $K_{11} P_1 = 0$ à vide et $K_{12} P_2 = 0$ en court-circuit.

La méthode est fondée sur le principe selon lequel les coefficients K restent invariables d'un essai à l'autre, en d'autres termes que les conditions de refroidissement restent invariables entre les essais, ce qui implique la même vitesse pour chaque essai. La méthode est également fondée sur le principe de conditions thermiques linéaires de manière à pouvoir additionner les échauffements d'un cas à ceux d'un autre cas. Cette méthode nécessite de connaître pour chaque cas, par calcul ou par mesurage, les pertes dans les composants correspondants avec suffisamment d'exactitude.

Lorsque les essais sont terminés et les équations compilées, les coefficients K peuvent être calculés par simples calculs arithmétiques. Ces coefficients sont ensuite utilisés dans une équation finale avec les pertes pour les conditions à charge assignée afin de calculer l'échauffement du composant 1. Les échauffements à charge assignée des composants 2 et 3 peuvent être calculés de la même manière.

Si l'une quelconque des pertes dépend de la température (par exemple la perte dans le cuivre statorique), la procédure de calcul doit être répétée en utilisant les valeurs de pertes corrigées par rapport à l'échauffement estimé. Il est probablement suffisant de réaliser cette itération une seule fois.

La méthode peut être utilisée pour déterminer l'échauffement de tout composant à n'importe quelle charge si les pertes à cette charge sont connues. Les coefficients de transmission de chaleur (K_{12} , etc.) peuvent être utiles pour d'autres études de modélisation thermique, par exemple pour analyser la réponse au déséquilibre d'alimentation, la réduction de tension, etc.

Pour tous les essais par superposition, des corrections sont nécessaires pour compenser les variations des caractéristiques de fonctionnement de l'échangeur thermique (lorsque la machine en est équipée), dans la mesure où la résistance thermique de l'échangeur dépend entre autres de la perte totale dans chaque essai.

5.2 Echauffement admissible dans les essais par superposition

Lors de la détermination des échauffements des pièces constitutives de la machine au moyen d'essais par superposition, les écarts par rapport aux résultats obtenus lors des essais à charge assignée sont toujours disponibles (voir la présente norme). Dans le cas d'une erreur négative (voir 6.1, 6.2, 7.1, 7.2 et l'article 8), les échauffements admissibles spécifiés dans la CEI 60034-1 doivent être corrigés.

Si l'exactitude γ % pour les résultats obtenus lors des essais par superposition est une valeur négative, les échauffements possibles en fonctionnement à charge assignée sont généralement égaux à:

$$\Delta \theta_N = \Delta \theta_{N_{\text{super}}} + \Delta \theta_{N_{\text{super}}} \frac{|\gamma|}{100}$$

Pour les erreurs négatives, les échauffements admissibles spécifiés dans la CEI 60034-1 doivent par conséquent être multipliés par le facteur de correction σ suivant:

$$\sigma = \frac{1}{1 + \frac{|\gamma|}{100}}$$