

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC  
34-2**

Troisième édition  
Third edition  
1972

---

---

**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**

**Part 2:**

**Methods for determining losses and efficiency of  
rotating electrical machinery from tests  
(excluding machines for traction vehicles)**



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 34-2: 1972

## Validité de la présente publication

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

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

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

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

## Terminologie

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

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

## Symboles graphiques et littéraux

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

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

et pour les appareils électromédicaux,

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

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

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

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

## Validity of this publication

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

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

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

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

## Terminology

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

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

## Graphical and letter symbols

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

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

and for medical electrical equipment,

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

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

## IEC publications prepared by the same technical committee

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

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC  
34-2**

Troisième édition  
Third edition  
1972

---

---

**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**

**Part 2:**

**Methods for determining losses and efficiency of  
rotating electrical machinery from tests  
(excluding machines for traction vehicles)**

© CEI 1972 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 pro-  
cédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et  
les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

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

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève, Suisse

---

---



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE

**U**

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

## SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE .....	4
PRÉFACE .....	4
Articles	
SECTION UN — GÉNÉRALITÉS	
1. Domaine d'application .....	6
2. Objet .....	6
3. Généralités .....	6
3.1 Liste des symboles .....	8
4. Définitions .....	8
4.1 Rendement .....	8
4.2 Pertes totales .....	8
4.3 Essai au frein .....	8
4.4 Essai avec machine auxiliaire tarée .....	10
4.5 Essai en opposition .....	10
4.6 Essai en opposition avec marche en parallèle sur un réseau .....	10
4.7 Essai de ralentissement .....	10
4.8 Essai calorimétrique .....	10
4.9 Essai à vide .....	10
4.10 Essai à circuit ouvert .....	10
4.11 Essai de court-circuit permanent .....	10
4.12 Essai au facteur de puissance nul .....	10
5. Température de référence .....	12
SECTION DEUX — MACHINES A COURANT CONTINU	
6. Pertes à comprendre .....	12
6.1 Pertes dans le circuit d'excitation .....	12
6.2 Pertes constantes .....	12
6.3 Pertes en charge .....	14
6.4 Pertes supplémentaires en charge .....	14
7. Détermination du rendement .....	14
7.1 Totalisation des pertes .....	14
7.2 Mesure globale des pertes .....	22
SECTION TROIS — MACHINES A INDUCTION POLYPHASÉES	
8. Pertes à comprendre .....	24
8.1 Pertes constantes .....	24
8.2 Pertes en charge .....	24
8.3 Pertes supplémentaires en charge .....	26
9. Détermination du rendement .....	26
9.1 Totalisation des pertes .....	26
9.2 Mesure globale des pertes .....	30
SECTION QUATRE — MACHINES SYNCHRONES	
10. Pertes à comprendre .....	32
10.1 Pertes constantes .....	32
10.2 Pertes en charge .....	34
10.3 Pertes dans le circuit d'excitation .....	34
10.4 Pertes supplémentaires en charge .....	34
11. Détermination du rendement .....	36
11.1 Totalisation des pertes .....	36
11.2 Mesure globale des pertes .....	42
SECTION CINQ — MÉTHODES D'ESSAIS	
12. Généralités .....	44
13. Méthode du moteur taré .....	46
14. Essais au facteur de puissance nul .....	46
15. Méthode de ralentissement .....	46
16. Essai en opposition .....	50
17. Essai calorimétrique .....	52
18. Indication des essais préférentiels .....	52
18.1 Machines à courant continu .....	52
18.2 Machines à induction polyphasées .....	52
18.3 Machines synchrones .....	52
FIGURES .....	54

## CONTENTS

	Page
FOREWORD .....	5
PREFACE .....	5
<b>SECTION ONE — GENERAL</b>	
Clause	
1. Scope .....	7
2. Object .....	7
3. General .....	7
3.1 List of symbols .....	9
4. Definitions .....	9
4.1 Efficiency .....	9
4.2 Total loss .....	9
4.3 Breaking test .....	9
4.4 Calibrated driving machine test .....	11
4.5 Mechanical back-to-back test .....	11
4.6 Electrical back-to-back test .....	11
4.7 Retardation test .....	11
4.8 Calorimetric test .....	11
4.9 No-load test .....	11
4.10 Open-circuit test .....	11
4.11 Sustained short-circuit test .....	11
4.12 Zero power factor-test .....	11
5. Reference temperature .....	13
<b>SECTION TWO — D.C. MACHINES</b>	
6. Losses to be included .....	13
6.1 Excitation circuit losses .....	13
6.2 Constant losses .....	13
6.3 Load losses .....	15
6.4 Additional load losses .....	15
7. Determination of efficiency .....	15
7.1 Summation of losses .....	15
7.2 Total loss measurement .....	23
<b>SECTION THREE — POLYPHASE INDUCTION MACHINES</b>	
8. Losses to be included .....	25
8.1 Constant losses .....	25
8.2 Load losses .....	25
8.3 Additional load losses .....	27
9. Determination of efficiency .....	27
9.1 Summation of losses .....	27
9.2 Total loss measurement .....	31
<b>SECTION FOUR — SYNCHRONOUS MACHINES</b>	
10. Losses to be included .....	33
10.1 Constant losses .....	33
10.2 Load losses .....	35
10.3 Excitation circuit losses .....	35
10.4 Additional load losses .....	35
11. Determination of efficiency .....	37
11.1 Summation of losses .....	37
11.2 Total loss measurement .....	43
<b>SECTION FIVE — METHODS OF TEST</b>	
12. General .....	45
13. Calibrated machine test .....	47
14. Zero power factor test .....	47
15. Retardation method .....	47
16. Electrical back-to-back test .....	51
17. Calorimetric test .....	53
18. Schedule of preferred tests .....	53
18.1 D. C. machines .....	53
18.2 Polyphase induction machines .....	53
18.3 Synchronous machines .....	53
FIGURES .....	54

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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)

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager cette unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux ne possédant pas encore de règles nationales, lorsqu'ils préparent ces règles, prennent comme base fondamentale de ces règles les recommandations de la CEI dans la mesure où les conditions nationales le permettent.
- 4) On reconnaît qu'il est désirable que l'accord international sur ces questions soit suivi d'un effort pour harmoniser les règles nationales de normalisation avec ces recommandations dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Les Comités nationaux s'engagent à user de leur influence dans ce but.

PRÉFACE

La présente recommandation a été établie par le Sous-Comité 2D: Pertes et rendement, du Comité d'Etudes N° 2 de la CEI: Machines tournantes. Elle remplace la deuxième édition publiée en 1960.

Elle fait partie d'une série de recommandations traitant des machines électriques tournantes, et dont les autres parties sont:

Première partie: Valeurs nominales et caractéristiques de fonctionnement (Publication 34-1 de la CEI).

Troisième partie: Valeurs nominales et caractéristiques des turbomachines triphasées à 50 Hz (Publication 34-3 de la CEI).

Quatrième partie: Méthodes pour la détermination à partir d'essais des grandeurs des machines synchrones (Publication 34-4 de la CEI).

Cinquième partie: Degrés de protection procurés par les enveloppes des machines tournantes (Publication 34-5 de la CEI).

Sixième partie: Modes de refroidissement des machines tournantes (Publication 34-6 de la CEI).

Les travaux de révision commencèrent lors de la réunion tenue à Tokyo en 1965, et un projet fut discuté lors de la réunion tenue à Londres en 1968. A la suite de cette dernière réunion, un projet définitif fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en novembre 1969.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

Afrique du Sud	Israël
Allemagne	Italie
Australie	Japon
Autriche	Norvège
Belgique	Pays-Bas
Corée (République	Pologne
Démocratique Populaire de)	Royaume-Uni
Danemark	Suède
Etats-Unis d'Amérique	Suisse
Finlande	Turquie
France	Union des Républiques
Hongrie	Socialistes Soviétiques

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ROTATING ELECTRICAL MACHINES

Part 2: Methods for determining losses and efficiency of rotating electrical machinery from tests (excluding machines for traction vehicles)

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote this international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees having as yet no national rules, when preparing such rules, should use the IEC recommendations as the fundamental basis for these rules in so far as national conditions will permit.
- 4) The desirability is recognized of extending international agreement on these matters through an endeavour to harmonize national standardization rules with these recommendations in so far as national conditions will permit. The National Committees pledge their influence towards that end.

PREFACE

This Recommendation has been prepared by Sub-Committee 2D, Losses and Efficiency, of IEC Technical Committee No.2, Rotating Machinery. It supersedes the second edition published in 1960.

It constitutes part of a series of recommendations dealing with rotating electrical machinery, other parts being:

Part 1, Rating and Performance (IEC Publication 34-1).

Part 3, Ratings and Characteristics of Three-phase, 50 Hz Turbine-type Machines (IEC Publication 34-3).

Part 4, Methods for Determining Synchronous Machine Quantities from Tests (IEC Publication 34-4).

Part 5, Degrees of Protection by Enclosures for Rotating Machinery (IEC Publication 34-5).

Part 6, Methods of Cooling Rotating Machinery (IEC Publication 34-6).

Work on the revision started at the meeting held in Tokyo in 1965, and a further draft was discussed at the meeting held in London in 1968. As a result of this latter meeting, a final draft was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in November 1969.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Netherlands
Austria	Norway
Belgium	Poland
Denmark	South Africa
Finland	Sweden
France	Switzerland
Germany	Turkey
Hungary	Union of Soviet
Israel	Socialist Republics
Italy	United Kingdom
Japan	United States
Korea (Democratic	of America
People's Republic of)	

## 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)

#### SECTION UN — GÉNÉRALITÉS

##### 1. **Domaine d'application**

La présente recommandation s'applique aux machines à courant continu ainsi qu'aux machines à courant alternatif, synchrones et à induction, de toutes dimensions, qui sont du domaine de la Publication 34-1 de la CEI. Les principes de ces recommandations peuvent toutefois être adoptés pour d'autres types de machines telles que commutatrices, moteurs à collecteurs et moteurs à induction monophasés, pour lesquelles on applique en général d'autres méthodes de détermination des pertes.

##### 2. **Objet**

La présente recommandation a pour objet de définir les méthodes de détermination du rendement à partir d'essais et également de spécifier les méthodes permettant de déterminer des pertes d'une nature donnée lorsqu'il est nécessaire de les connaître à d'autres fins.

##### 3. **Généralités**

Les essais doivent être effectués sur une machine en parfait état, tous les couvercles étant montés comme en fonctionnement normal. Les dispositifs de réglage automatique de la tension qui ne font pas partie intégrante de la machine sont mis hors fonction, sauf spécification contraire.

Sauf spécification contraire, les appareils de mesure et leurs accessoires, tels que transformateurs de mesure, shunts et ponts utilisés pendant ces essais, doivent être d'une classe de précision ne dépassant pas 1,0 (Publication 51 de la CEI: Recommandations pour les appareils de mesure électriques indicateurs et leurs accessoires). Les appareils utilisés pour déterminer la résistance en courant continu doivent être d'une classe de précision ne dépassant pas 0,5.

Les appareils de mesure doivent être choisis de façon que la lecture s'effectue sur une zone de l'échelle telle qu'une fraction de division ne corresponde qu'à une faible proportion de la lecture effectuée, et puisse être facilement estimée.

Sur les machines à balais réglables, les balais doivent être placés dans la position correspondant au service nominal spécifié. Pour les mesures à vide, les balais peuvent être placés sur la ligne neutre.

La vitesse de rotation peut être mesurée par une méthode stroboscopique, par un compteur numérique ou par un tachymètre. Pour la mesure du glissement, la vitesse synchrone doit être déterminée à partir de la fréquence d'alimentation au cours de l'essai.

## ROTATING ELECTRICAL MACHINES

### Part 2: Methods for determining losses and efficiency of rotating electrical machinery from tests (excluding machines for traction vehicles)

#### SECTION ONE — GENERAL

1. **Scope**

This Recommendation applies to d.c. machines and to a.c. synchronous and induction machines of all sizes within the scope of IEC Publication 34-1. The principles can, however, be applied to other types of machines such as rotary convertors, a.c. commutator motors and single-phase induction motors for which other methods of determining losses are generally used.

2. **Object**

This Recommendation is intended to establish methods of determining efficiencies from tests, and also to specify methods of obtaining particular losses when these are required for other purposes.

3. **General**

Tests shall be conducted on a completely sound machine with all covers fitted in the manner required for normal service, with any devices for automatic voltage regulation not a composite part of the machine itself being made inoperative, unless otherwise agreed.

Measuring instruments and their accessories, such as measuring transformers, shunts and bridges used during the tests, unless otherwise specified, shall have an accuracy class not above 1.0 (IEC Publication 51, Recommendations for Indicating Electrical Measuring Instruments and their Accessories). Instruments for determining d.c. resistance shall be to accuracy class not above 0.5.

Instruments shall be selected to give readings over the effective range such that a fraction of a division is a small percentage of the actual reading and can be easily estimated.

On machines with adjustable brushes, the brushes shall be placed in the position corresponding to the specified rating. For measurements on no-load, the brushes may be placed on the neutral axis.

Speed of rotation may be measured by a stroboscopic method, digital counter or tachometer. When measuring slip, the synchronous speed should be determined from the supply frequency during the test.

Lorsqu'on mesure le rendement global ou la puissance absorbée d'un groupe de machines constitué de deux machines électriques, ou d'une machine et d'un transformateur, ou d'une génératrice et de son moteur d'entraînement, ou d'un moteur et de la machine qu'il entraîne, il n'est pas nécessaire d'indiquer les rendements individuels. Si toutefois ils sont indiqués séparément, ils doivent être considérés comme approximatifs.

### 3.1 *Liste des symboles*

Ci-dessous, la liste des symboles utilisés dans le texte, avec leur signification:

$I$	= courant
$I_l$	= courant en charge à la tension nominale
$I_{lr}$	= courant primaire principal à tension réduite
$I_o$	= courant à vide à la tension nominale
$I_{or}$	= courant à vide à tension réduite
$J$	= moment d'inertie
$n$	= vitesse nominale, en tours par minute
$P_1$	= puissance absorbée à la tension nominale
$P_{lr}$	= puissance absorbée par l'enroulement primaire à tension réduite
$s$	= glissement
$U$	= tension d'excitation aux bornes du rhéostat principal
$U_e$	= tension totale d'excitation
$U_n$	= tension nominale
$U_r$	= tension réduite pour essai en charge
$\varphi$	= angle de déphasage en charge à tension nominale
$\varphi_r$	= angle de déphasage en charge à tension réduite
$\varphi_o$	= angle de déphasage à vide à tension nominale
$\varphi_{or}$	= angle de déphasage à vide à tension réduite

## 4. **Définitions**

Pour les définitions des termes généraux employés dans la présente recommandation, il convient de se reporter au Vocabulaire Electrotechnique International [Publication 50 de la CEI].

Dans le cadre de la présente recommandation, les définitions suivantes sont applicables:

### 4.1 *Rendement*

Rapport de la puissance utile à la puissance absorbée, exprimées dans les mêmes unités, et généralement indiqué en pour-cent.

### 4.2 *Pertes totales*

Différence entre la puissance absorbée et la puissance utile.

### 4.3 *Essai au frein*

Essai dans lequel la puissance mécanique fournie par une machine fonctionnant en moteur est déterminée par la mesure du couple sur l'arbre au moyen d'un frein ou d'un dynamomètre et par la mesure simultanée de la vitesse de rotation; l'essai peut être également effectué sur une machine fonctionnant en génératrice au moyen d'un dynamomètre pour déterminer la puissance mécanique absorbée.

When the over-all efficiency or the absorbed power is measured for a group of machines comprising two electrical machines, or a machine and a transformer, or a generator and its driving machine, or a motor and its driven machine, there is no need to indicate the individual efficiencies. If, however, these are given separately, they should be regarded as approximate.

### 3.1 *List of symbols*

A list of symbols used in the draft, with the general meanings attributed to each one, is given below:

$I$	= current
$I_1$	= load current at rated voltage
$I_{1r}$	= main primary current at reduced voltage
$I_o$	= no-load current at rated voltage
$I_{or}$	= no-load current at reduced voltage
$J$	= moment of inertia
$n$	= rated speed, in revolutions per minute
$P_1$	= power absorbed at rated voltage
$P_{1r}$	= power absorbed by main primary winding at reduced voltage
$s$	= slip
$U$	= excitation voltage across terminals of main rheostat
$U_e$	= total excitation voltage
$U_n$	= rated voltage
$U_r$	= reduced voltage for load test
$\varphi$	= load phase angle at rated voltage
$\varphi_r$	= load phase angle at reduced voltage
$\varphi_o$	= no-load phase angle at rated voltage
$\varphi_{or}$	= no-load phase angle at reduced voltage

## 4. **Definitions**

For definitions of general terms used in this Recommendation, reference should be made to the International Electrotechnical Vocabulary [IEC Publication 50].

For the purpose of this Recommendation, the following definitions apply:

### 4.1 *Efficiency*

The ratio of output to input expressed in the same units and usually given as a percentage.

### 4.2 *Total loss*

The difference between the input and the output.

### 4.3 *Braking test*

A test in which the mechanical power output of a machine acting as a motor is determined by the measurement of the shaft torque, by means of a brake or dynamometer, together with the rotational speed. Alternatively, a test performed on a machine acting as a generator, by means of a dynamometer to determine the mechanical power input.

4.4 *Essai avec machine auxiliaire tarée*

Essai dans lequel la puissance mécanique absorbée ou fournie par une machine électrique est calculée à partir de la puissance électrique fournie ou absorbée par une machine auxiliaire tarée accouplée mécaniquement à la machine en essai.

4.5 *Essai en opposition*

Essai dans lequel deux machines identiques sont accouplées mécaniquement, les pertes totales des deux machines étant calculées par différence des puissances électriques que l'une absorbe et que l'autre fournit (voir figure 1, page 54).

4.6 *Essai en opposition avec marche en parallèle sur un réseau*

Essai dans lequel deux machines identiques sont accouplées mécaniquement et connectées toutes deux à un même réseau. Les pertes totales des deux machines sont égales à la puissance fournie par ce réseau (voir figure 2, page 54).

4.7 *Essai de ralentissement*

Essai dans lequel les pertes d'une machine sont calculées à partir du taux de ralentissement de la machine lorsque n'interviennent que ces pertes.

4.8 *Essai calorimétrique*

Essai dans lequel on détermine les pertes de la machine à partir de la quantité de chaleur qu'elles produisent. Les pertes sont calculées à partir du produit de la quantité de réfrigérant par son échauffement, et le cas échéant de la quantité de chaleur dissipée à l'extérieur.

4.9 *Essai à vide*

Essai dans lequel une machine fonctionne en moteur sans fournir de puissance mécanique utile sur l'arbre.

4.10 *Essai à circuit ouvert*

Essai dans lequel une machine fonctionne en génératrice avec ses bornes à circuit ouvert.

4.11 *Essai de court-circuit permanent*

Essai dans lequel une machine fonctionne en génératrice avec ses bornes en court-circuit.

4.12 *Essai au facteur de puissance nul*

Essai à vide effectué sur une machine synchrone surexcitée et fonctionnant à un facteur de puissance très voisin de zéro.

4.4 *Calibrated driving machine test*

A test in which the mechanical input or output of an electrical machine is calculated from the electrical output or input of a calibrated machine mechanically coupled to the machine on test.

4.5 *Mechanical back-to-back test*

A test in which two identical machines are mechanically coupled together, and the total losses of both machines are calculated from the difference between the electrical input to one machine and the electrical output of the other machine (see Figure 1, page 54).

4.6 *Electrical back-to-back test*

A test in which two identical machines are mechanically coupled together, and they are both connected electrically to a power system. The total losses of both machines are taken as the power input drawn from the system (see Figure 2, page 54).

4.7 *Retardation test*

A test in which the losses in a machine are deduced from the rate of deceleration of the machine when only these losses are present.

4.8 *Calorimetric test*

A test in which the losses in a machine are deduced from the heat produced by them. The losses are calculated from the product of the amount of coolant and its temperature rise, and the heat dissipated in the surrounding media.

4.9 *No-load test*

A test in which the machine is run as a motor providing no useful mechanical output from the shaft.

4.10 *Open-circuit test*

A test in which a machine is run as a generator with its terminals open-circuited.

4.11 *Sustained short-circuit test*

A test in which a machine is run as a generator with its terminals short-circuited.

4.12 *Zero power factor test*

A no-load test on a synchronous machine which is over-excited and operates at a power factor very close to zero.

5. **Température de référence**

Sauf spécification contraire, toutes les pertes par effet Joule doivent être ramenées à l'une des températures indiquées ci-après.

Classes A, E et B: 75 °C

Classes F et H: 115 °C

*Note.* — Il n'est pas nécessaire que la classe réelle d'isolant employée pour l'organe considéré de la machine corresponde aux limites d'échauffement choisies.

SECTION DEUX — MACHINES A COURANT CONTINU

6. **Pertes à comprendre**

Les pertes totales peuvent être considérées comme la somme des pertes suivantes:

6.1 *Pertes dans le circuit d'excitation*

a) Pertes par effet Joule dans les circuits d'excitation en dérivation ou séparés et dans les rhéostats d'excitation.

b) Pertes dans l'excitatrice.

Toutes les pertes dans l'excitatrice lorsque celle-ci, formant partie intégrante d'un ensemble complet, est entraînée mécaniquement par l'arbre principal et est utilisée exclusivement pour l'excitation de la machine, ainsi que les pertes dans le rhéostat d'excitation de cette excitatrice, mais à l'exception des pertes par frottement et par ventilation.

Dans le cas d'une excitation séparée, fournie par des moyens tels que batterie, redresseur ou groupe moteur-générateur, il n'y a pas à tenir compte des pertes dans la source d'excitation ou dans les connexions entre la source et les balais.

*Note.* — Quand les pertes dans un système d'excitation séparé sont demandées, elles peuvent être indiquées séparément et prises égales à la différence entre le quotient de la puissance d'excitation par le rendement du système d'excitation et la puissance d'excitation.

6.2 *Pertes constantes*

a) Pertes dans le fer et pertes supplémentaires à vide dans les autres parties métalliques.

b) Pertes dues au frottement (paliers et balais) à l'exclusion des pertes dans un système de graissage séparé. Les pertes dans les paliers communs doivent être indiquées séparément, que ces paliers soient fournis ou non avec la machine.

*Note.* — Si l'on doit indiquer les pertes dans un système de graissage séparé, celles-ci doivent être mentionnées séparément.

5. **Reference temperature**

Unless otherwise specified, all  $I^2R$  losses shall be corrected to one of the temperatures given below:

Classes A, E and B: 75 °C

Classes F and H: 115 °C

*Note.* — The reference temperature need not necessarily correspond with the limits of temperature rise permitted for the actual class of insulation used for a particular part of the machine.

SECTION TWO — D.C. MACHINES

6. **Losses to be included**

The total losses may be taken as the sum of the following component losses:

6.1 *Excitation circuit losses*

a)  $I^2R$  losses in shunt or separately excited windings and in the excitation rheostats.

b) Exciter losses.

All the losses in an exciter mechanically driven from the main shaft, which forms part of the complete unit and is used solely for exciting the machine, together with losses in the rheostat in the excitation circuit of such an exciter, but with the exception of friction and windage losses.

In the case of a separate excitation supply such as battery, rectifier or motor generator set, no allowance is made for the losses in the excitation source or in the connections between the source and the brushes.

*Note.* — When the losses in a separate excitation system are required, these should be listed separately and can be taken as the difference between the excitation power divided by the efficiency of the excitation system, and the excitation power.

6.2 *Constant losses*

a) Losses in active iron, and additional no-load losses in other metal parts.

b) Losses due to friction (bearings and brushes) not including any losses in a separate lubricating system. Losses in common bearings shall be stated separately, whether or not such bearings are supplied with the machine.

*Note.* — When the losses in a separate lubricating system are required, these should be listed separately.

- c) Pertes totales par ventilation dans la machine, y compris la puissance absorbée par les ventilateurs faisant partie intégrante de la machine et par les machines auxiliaires, s'il en existe, faisant partie intégrante de la machine. Les pertes dans les machines auxiliaires telles que les ventilateurs extérieurs, pompes à eau et à huile ne faisant pas partie intégrante de la machine, mais destinées exclusivement à la machine en question, ne doivent être comprises que sur accord.

*Note.* — Si l'on doit indiquer les pertes dans un système de ventilation séparé, elles doivent être mentionnées séparément, étant donné qu'elles ne font pas partie des pertes de la machine.

### 6.3 *Pertes en charge*

- a) Pertes par effet Joule dans l'induit et dans les enroulements parcourus par le courant d'induit (par exemple enroulements de commutation, de compensation, d'excitation et tous enroulements connectés en série avec l'induit).
- b) Pertes électriques dans les balais.

### 6.4 *Pertes supplémentaires en charge*

- a) Pertes supplémentaires en charge dans le fer et les autres parties métalliques autres que les conducteurs.
- b) Pertes par courants de Foucault dans les conducteurs d'induit, dues à la pulsation de flux dépendant des courants et à la commutation.
- c) Pertes dans les balais, dues à la commutation.

*Note.* — Ces pertes sont parfois dites pertes supplémentaires, mais ne comprennent pas les pertes supplémentaires à vide mentionnées au paragraphe 6.2 a).

## 7. **Détermination du rendement**

### 7.1 *Totalisation des pertes*

Le rendement peut être calculé à partir des pertes totales, considérées comme la somme des pertes déterminées de la façon suivante:

#### 7.1.1 *Pertes par excitation*

Ces pertes sont les suivantes:

##### 7.1.1.1 *Pertes par effet Joule dans l'enroulement d'excitation*

Ces pertes sont calculées par la formule  $RI^2$ , dans laquelle  $R$  est la résistance de l'enroulement d'excitation en dérivation ou séparée, ramenée à la température de référence, et  $I$  le courant d'excitation. Sauf dans le cas c) ci-dessous, le courant d'excitation est celui qui correspond à la vitesse nominale et au régime nominal. Dans le cas c) ci-dessous, c'est celui qui correspond à la vitesse nominale à vide.

- c) The total windage loss in the machine including power absorbed in integral fans and in auxiliary machines, if any, forming an integral part of the machine. The losses in auxiliary machines such as external fans, water and oil pumps not forming an integral part of the machine, but provided exclusively for the machine in question, shall be included only by agreement.

*Note.* — When the losses in a separate ventilating system are required, they should be listed separately as they are not part of the machine losses.

### 6.3 *Load losses*

- a)  $I^2R$  losses in armature, and windings carrying armature current (e. g. commutating, compensating, excitation and series connected windings).
- b) Electrical losses in brushes.

### 6.4 *Additional load losses*

- a) Losses introduced by load in active iron, and other metal parts other than the conductors.
- b) Eddy current losses in armature conductors caused by current dependent flux pulsation and commutation.
- c) Losses in the brushes caused by commutation.

*Note.* — These losses are sometimes called additional losses, but they do not include the additional no-load losses in Sub-clause 6.2 a).

## 7. **Determination of efficiency**

### 7.1 *Summation of losses*

The efficiency can be calculated from the total losses which are assumed to be the summation of the losses obtained in the following manner:

#### 7.1.1 *Excitation losses*

These are:

##### 7.1.1.1 *Excitation winding $I^2R$ losses*

These losses are calculated from the formula  $I^2R$ , where  $R$  is the resistance of the shunt excitation winding (or separately excited winding), corrected to the reference temperature, and  $I$  is the excitation current. Except for case c) below, the excitation current shall be that corresponding to rated speed under rated load conditions. For case c) below, the excitation current shall be that corresponding to rated speed at no-load.

Si le courant d'excitation ne peut pas être mesuré au cours d'un essai en charge, on admet qu'il est égal:

- a) Dans le cas des génératrices à excitation en dérivation ou à excitation séparée avec ou sans pôles de commutation, à 110% du courant d'excitation correspondant à la marche à vide sous une tension égale à la tension nominale majorée de la chute ohmique dans le circuit d'induit (induit, balais, enroulements de commutation, s'il y a lieu, voir aussi paragraphe 7.1.3.2) sous le courant nominal en charge.
- b) Dans le cas des génératrices compensées à excitation en dérivation ou à excitation séparée, au courant d'excitation correspondant à la marche à vide sous une tension égale à la tension nominale majorée de la chute ohmique dans le circuit d'induit (induit, balais, enroulements de commutation et de compensation, s'il y a lieu, voir aussi paragraphe 7.1.3.2) sous le courant nominal en charge.
- c) Dans le cas des génératrices à excitation compound ajustée, au courant d'excitation correspondant à la marche à vide à la tension nominale.
- d) Dans le cas des génératrices à excitation hypercompound ou hypocompound et des types spéciaux de génératrices non couverts par les points a) à c), à la valeur convenue entre le constructeur et l'acheteur.
- e) Dans le cas des moteurs shunt, au courant d'excitation à vide à la tension nominale.

#### 7.1.1.2 Pertes dans le rhéostat principal

Ces pertes sont calculées par la formule  $RI^2$  dans laquelle  $R$  est la résistance de la partie du rhéostat en circuit pour le régime considéré et  $I$  la valeur du courant d'excitation défini au paragraphe 7.1.1.1 ci-dessus. Elles sont aussi égales au produit  $IU$  du courant d'excitation par la fraction  $U$  de la tension d'excitation qui doit être absorbée dans le rhéostat.

La somme des pertes, paragraphes 7.1.1.1 et 7.1.1.2, est aussi égale au produit  $IU_c$  du courant d'excitation  $I$  par la tension totale d'excitation  $U_c$ .

*Note.* — Quand une résistance est reliée en permanence en série dans le circuit d'excitation, elle doit être prise en compte de la même façon que le rhéostat principal.

#### 7.1.1.3 Pertes dans l'excitatrice

*Note.* — Ceci s'applique seulement dans le cas où l'excitatrice est entraînée mécaniquement par l'arbre principal et est utilisée exclusivement pour l'excitation de la machine principale.

Ces pertes comprennent l'excès de la puissance absorbée sur l'arbre par l'excitatrice sur la puissance utile qu'elle fournit à ses bornes\* ainsi que les pertes d'excitation de l'excitatrice si celle-ci est excitée par une source séparée.

Si l'excitatrice peut être désaccouplée de la machine principale et essayée séparément, la puissance qu'elle absorbe peut être mesurée par la méthode du moteur taré.

---

\* La puissance utile aux bornes de l'excitatrice est égale à la somme des pertes, paragraphes 7.1.1.1 et 7.1.1.2, de la machine principale.

If the excitation current cannot be measured during a test on load, it should be taken as:

- a) For shunt connected or separately excited generators with or without commutation poles; 110% of the excitation current, corresponding to no-load at a voltage equal to the rated voltage plus ohmic drop in the armature circuit (armature, brushes and commutating windings if any, see also Sub-clause 7.1.3.2) at rated load current.
- b) For compensated shunt or separately excited generators: the excitation current corresponding to no-load at a voltage equal to the rated voltage plus the ohmic drop in the armature circuit (armature, brushes, commutating windings and compensating windings, see also Sub-clause 7.1.3.2) at rated load current.
- c) For level-compounded generators: the excitation current for the rated no-load voltage.
- d) For over-compounded and under-compounded generators, and special types of generator not covered by items a) to c): as agreed between manufacturer and purchaser.
- e) For shunt wound motors: equal to no-load excitation current corresponding to the rated voltage.

#### 7.1.1.2 *Main rheostat losses*

These losses are calculated from the formula  $I^2R$ , where  $R$  is the resistance of the part of the rheostat in circuit for the rating considered, and  $I$  is the value of the excitation current defined as in Sub-clause 7.1.1.1 above. They are also equal to the product,  $IU$ , of the excitation current multiplied by  $U$ , the excitation voltage which must be absorbed in the rheostat.

The sum of the losses, Sub-clauses 7.1.1.1 and 7.1.1.2, is also equal to the product  $IU_e$  of the excitation current  $I$  and the total excitation voltage  $U_e$ .

*Note.* — Where a resistance is permanently connected in series in the excitation circuit it should be dealt with in the same way as the main rheostat.

#### 7.1.1.3 *Exciter losses*

*Note.* — This applies only to the case where the exciter is mechanically driven from the main shaft and is used solely for exciting the main machine.

These losses include the difference between the power absorbed at the shaft by the exciter and the useful power which it provides at its terminals,\* as well as the excitation losses in the exciter if this is excited from a separate source.

If the exciter can be uncoupled from the main machine and tested separately, the power which it absorbs may be measured by using the calibrated-machine method.

---

\* The useful power at the terminals of the exciter is equal to the sum of the losses, Sub-clauses 7.1.1.1 and 7.1.1.2, of the main machine.

Si elle ne peut pas être désaccouplée de la machine principale, la puissance qu'elle absorbe peut être mesurée soit par la méthode de fonctionnement en moteur à vide, soit par la méthode du moteur taré (article 13), soit par la méthode de ralentissement (article 15), appliquée au groupe complet. Dans ces trois méthodes, la puissance absorbée par l'excitatrice s'obtient par différence entre les pertes totales du groupe mesurées dans des conditions identiques, d'abord avec l'excitatrice en charge, puis avec l'excitatrice non excitée, l'excitation étant fournie par une source indépendante.

Si aucune de ces méthodes n'est applicable, la puissance absorbée par l'excitatrice s'obtient en ajoutant à la puissance mesurée à ses bornes les différentes pertes séparées déterminées comme il est dit à l'article 6. Toutefois, il n'y a pas à tenir compte des pertes mécaniques par frottement et ventilation qui sont mesurées en même temps que celles de la machine principale.

### 7.1.2 *Pertes indépendantes du courant*

#### 7.1.2.1 *Essai à vide à la tension nominale*

Les pertes constantes se déterminent en faisant fonctionner la machine en moteur à vide sous une tension égale à la tension nominale, la vitesse étant portée à sa valeur nominale par réglage de l'excitation, alimentée de préférence par une source séparée.

La puissance électrique totale absorbée, diminuée des pertes par effet Joule dans l'induit et dans l'enroulement d'excitation ou, s'il y a lieu, de la puissance absorbée par l'excitatrice, donne la somme des pertes constantes.

#### 7.1.2.2 *Essai à circuit ouvert*

Les pertes constantes peuvent être déterminées séparément en entraînant la machine à sa vitesse nominale au moyen d'un moteur taré. La machine est excitée (de préférence par une source indépendante) de façon à fonctionner en génératrice à vide sous une tension égale à sa tension nominale. La puissance qu'elle absorbe sur son arbre, et qui s'obtient à partir de la puissance électrique absorbée par le moteur taré, donne la somme des pertes constantes. En supprimant l'excitation, on obtient de la même façon la somme des pertes par frottement et par ventilation. Les pertes dans le fer peuvent être déterminées séparément en déduisant les pertes mesurées au cours de cet essai de celles mesurées au cours de l'essai à vide précédent. En relevant les balais, on peut déterminer séparément les pertes par frottement des balais en déduisant les pertes mesurées au cours de cet essai de celles mesurées au cours de l'essai précédent sans excitation.

#### 7.1.2.3 *Essai de ralentissement*

Dans les machines à grande inertie, les pertes totales constantes, ainsi que les pertes séparées constantes, peuvent être déterminées par la méthode de ralentissement.

### 7.1.3 *Pertes dépendant du courant*

Ces pertes sont les suivantes:

If the exciter cannot be uncoupled from the main machine, the power which it absorbs may be measured either by the method of working the main machine as a motor on no-load, or by the calibrated machine method (Clause 13), or by the retardation method (Clause 15), applied to the whole unit. In these three methods, the power absorbed by the exciter is obtained as the difference between the total losses of the unit measured under identical conditions, first with the exciter on-load and secondly with the exciter non-excited, the excitation being supplied by an independent source.

If none of these methods is applicable, the power absorbed by the exciter is obtained by adding to the power, measured at the terminals, the different separate losses determined as under Clause 6. However, mechanical friction and windage losses which are measured at the same time as those of the main machine need not be taken into account.

### 7.1.2 *Constant losses*

#### 7.1.2.1 *No-load test at rated voltage*

The constant losses shall be determined by running the machine under no-load conditions as a motor with rated voltage applied and with rated speed achieved by adjustment of the excitation, which shall preferably be derived from a separate source.

The total electric power absorbed, less the  $I^2R$  losses in the armature and in the excitation winding or, if necessary, less the power absorbed by the exciter, gives the sum of the constant losses.

#### 7.1.2.2 *Open circuit test*

The constant losses can be determined separately by driving the machine at its rated speed by means of a calibrated machine. The machine on test is excited (preferably from an independent source), so as to work as a generator on no-load at a voltage equal to its rated voltage, the power which it absorbs at its shaft, and which can be obtained from the electric power absorbed by the calibrated machine, giving the sum of the constant losses. By removing the excitation, the sum of the friction and windage losses is obtained in the same way. The core losses may be determined separately by subtracting the losses during this test from those measured during the previous no-load test. By lifting the brushes the brush friction loss may be determined separately by subtracting the losses during this test from those measured during the previous, unexcited test.

#### 7.1.2.3 *Retardation test*

In machines with large inertia, the total constant losses, as well as the separate constant losses, can be determined by the retardation method.

### 7.1.3 *Load losses*

These are:

#### 7.1.3.1 *Pertes par effet Joule dans le circuit d'induit*

Ces pertes sont calculées en partant du courant et des valeurs mesurées des résistances ramenées par le calcul à la température de référence; cependant, lorsque la mesure des résistances est impraticable en raison des très faibles valeurs en jeu, la détermination par le calcul est admise.

*Note.* — Ces pertes comprennent également celles dans les enroulements de compensation, les enroulements des pôles de commutation et les résistances de shuntage. Dans le cas d'une résistance de shuntage en parallèle avec un enroulement série, les pertes par effet Joule sont déterminées en partant du courant total et de la résistance résultante.

#### 7.1.3.2 *Pertes électriques dans les balais*

On admet que la somme de ces pertes est égale au produit du courant total par une chute de tension déterminée.

La chute de tension admise pour tous les balais d'une même polarité est de 1,0 V pour les balais en carbone ou en graphite, et de 0,3 V pour les balais en carbone métallisé, c'est-à-dire que la chute de tension totale est de 2,0 V pour les balais en carbone ou en graphite, et de 0,6 V pour les balais en carbone métallisé.

#### 7.1.4 *Pertes supplémentaires en charge*

Sauf spécification contraire, on admet que ces pertes varient comme le carré du courant et que leur valeur totale pour le courant nominal maximal est:

*Pour les machines non compensées*

1% de la puissance nominale absorbée pour les moteurs;  
1% de la puissance nominale utile pour les génératrices.

*Pour les machines compensées*

0,5% de la puissance nominale absorbée pour les moteurs;  
0,5% de la puissance nominale utile pour les génératrices.

Pour les machines à vitesse constante, la puissance nominale fournie ou absorbée est la puissance qui serait obtenue pour le courant nominal maximal et la tension nominale maximale.

Pour les moteurs à variation de vitesse par variation de la tension appliquée, la puissance nominale absorbée est définie pour chaque vitesse comme la puissance absorbée lorsque le courant nominal maximal à la vitesse considérée est associé à la tension correspondant à cette vitesse.

Pour les moteurs à vitesse variable compensés ou non, dans lesquels l'augmentation de la vitesse est obtenue par affaiblissement du champ, la puissance nominale absorbée est définie comme la puissance absorbée lorsqu'on associe la tension nominale au courant nominal maximal. Pour les génératrices à vitesse variable, dans lesquelles la tension est maintenue constante par variation du champ, la puissance nominale fournie est définie comme la puissance fournie disponible aux bornes à la tension nominale et au courant nominal maximal. Les pertes supplémentaires à la vitesse correspondant au plein champ sont celles spécifiées ci-dessus. Aux autres vitesses, on peut calculer les pertes supplémentaires en multipliant celles qui correspondent à la vitesse de plein champ par les facteurs de correction donnés au tableau 1, page 22.

#### 7.1.3.1 *Armature circuit I<sup>2</sup>R losses*

These losses are calculated from the current and the measured resistance, corrected to the reference temperature, except that where resistance measurement is impracticable due to very low resistances, calculation is permissible.

*Note.* — Under this heading are included compensating windings, commutating pole windings and diverters. In the case of diverters in parallel with a series winding, the  $I^2R$  losses should be determined using the total current and the resulting resistance.

#### 7.1.3.2 *Electrical losses in brushes*

The sum of these losses shall be taken as the product of the armature current and a fixed voltage drop.

The voltage drop allowed for all brushes of each polarity shall be 1.0 V for carbon or graphite brushes and 0.3 V for metal-carbon brushes, i.e. a total drop of 2.0 V for carbon or graphite brushes, and 0.6 V for metal-carbon brushes.

#### 7.1.4 *Additional load losses*

Unless otherwise specified, it is assumed that these losses vary as the square of the current, and that their total value at maximum rated current is, for:

##### *Uncompensated machines*

- 1% of the rated input for motors;
- 1% of the rated output for generators.

##### *Compensated machines*

- 0.5% of the rated input for motors;
- 0.5% of the rated output for generators.

For constant speed machines, the rated output or input as appropriate is taken as the output or input which would be obtained at maximum rated current and maximum rated voltage.

For variable speed motors where the speed change is obtained by applied voltage, the rated input is defined at each speed as being the input when the maximum rated current at any speed is associated with the applied voltage of the particular speed considered.

For variable speed motors where the increase in speed is obtained by weakening the field, the rated input is defined as being the input when the rated voltage is associated with the maximum rated current. For variable speed generators where the voltage is maintained constant by varying the field, the rated output is defined as being the output which is available at the terminals at rated voltage and maximum rated current. The allowances for additional losses at the speed corresponding to the full field shall be as specified above. The allowances for additional losses at other speeds shall be calculated using the appropriate multiplying factors given in Table 1, page 23.

TABLEAU I

*Facteurs de correction pour divers rapports de vitesses*

Rapport des vitesses	Facteur de correction
1,5:1	1,4
2 :1	1,7
3 :1	2,5
4 :1	3,2

Le rapport des vitesses figurant à la première colonne du tableau I est le rapport de la vitesse vraie considérée à la vitesse nominale minimale pour service continu.

Pour des rapports de vitesses différents de ceux indiqués dans ce tableau, on déterminera les facteurs de correction appropriés par interpolation.

*Note.* — Les pertes supplémentaires peuvent être obtenues par un essai en charge ou en opposition, en soustrayant des pertes totales mesurées toutes les autres pertes connues.

7.1.4.1 *Variation des pertes dans le fer due à la charge*

Cette variation est considérée généralement comme négligeable. Sur accord spécial, dans le cas de machines à très basse tension, la somme, paragraphes 6.2 a) et 6.4 a), peut être mesurée comme il est indiqué pour les pertes constantes, paragraphe 6.2 a), par l'une ou l'autre des deux méthodes de fonctionnement en moteur à vide ou en génératrice à vide, mais en faisant l'essai, non pas à la tension nominale, mais à cette tension nominale augmentée ou diminuée de la chute de tension dans le circuit de l'induit pour le courant considéré, selon qu'il s'agit d'une génératrice ou d'un moteur.

7.2 *Mesure globale des pertes*

7.2.1 *Essai au frein*

La machine fonctionne dans les conditions nominales de vitesse, de tension et de courant; le rendement est pris égal au rapport de la puissance utile à la puissance absorbée.

L'essai doit être effectué à une température aussi voisine que possible de celle atteinte en fonctionnement à la fin du temps spécifié dans le service nominal. Il n'est pas effectué de correction tenant compte de la variation de résistance des enroulements avec la température.

7.2.2 *Essai avec machine auxiliaire tarée (voir article 13)*

La machine fonctionne dans les conditions nominales de vitesse, de tension et de courant; le rendement est pris égal au rapport de la puissance utile à la puissance absorbée.

L'essai doit être effectué à une température aussi voisine que possible de celle atteinte en fonctionnement à la fin du temps spécifié dans le service nominal. Il n'est pas effectué de correction tenant compte de la variation de résistance des enroulements avec la température.

TABLE I

*Multiplying factors for different speed ratios*

Speed ratio	Multiplying factor
1.5:1	1.4
2 :1	1.7
3 :1	2.5
4 :1	3.2

The speed ratio in the first column of Table I shall be taken as the ratio of actual speed under consideration to the minimum rated speed for continuous running.

For speed ratios other than those given in Table I the appropriate multiplying factors can be ascertained by interpolation.

*Note.* — The additional load loss may be obtained from an input-output test or from a back-to-back test by subtracting from the total measured losses all other known losses.

7.1.4.1 *Change in core loss due to load*

In general, this variation is usually negligible. By special agreement, for very low voltage machines, the sum, Sub-clauses 6.2 a) and 6.4 a), may be measured as described for the constant losses in active iron, Sub-clause 6.2 a) by one or other of the two methods, by operating as a motor on no-load or as a generator on no-load, but instead of making the test at the rated voltage, the test is made at the rated voltage increased or decreased by the voltage drop in the armature circuit for the current considered, depending on whether the machine is a generator or a motor.

7.2 *Total loss measurement*

7.2.1 *Braking test*

When the machine is run at rated conditions of speed, voltage and current, the efficiency is then taken as the ratio of output to input.

The test shall be made as nearly as possible at the temperature attained in operation at the end of the time specified in the rating. No winding temperature correction shall be made.

7.2.2 *Calibrated machine test (see Clause 13)*

When the machine is run at rated conditions of speed, voltage and current, the efficiency is taken as the ratio of output to input.

The test shall be made as nearly as possible at the temperature attained in operation at the end of the time specified in the rating. No winding temperature correction shall be made.

### 7.2.3 *Essai en opposition*

Les machines identiques tournant dans des conditions nominales qui sont pratiquement les mêmes, les pertes sont considérées comme également réparties et le rendement est calculé à partir de la moitié des pertes totales et de la puissance électrique absorbée (dans le cas d'un moteur) ou fournie (dans le cas d'une génératrice).

L'essai doit être effectué à une température aussi voisine que possible de celle atteinte en fonctionnement à la fin du temps spécifié dans le service nominal. Il n'est pas effectué de correction tenant compte de la variation de résistance des enroulements avec la température.

### 7.2.4 *Essai en opposition avec marche en parallèle sur un réseau (voir article 16)*

Les machines identiques tournant dans des conditions nominales qui sont pratiquement les mêmes, les pertes couvertes par le réseau sont considérées comme également réparties et le rendement est calculé comme indiqué au paragraphe 7.2.3 ci-dessus.

L'essai doit être effectué à une température aussi voisine que possible de celle atteinte en fonctionnement à la fin du temps spécifié dans le service nominal. Il n'est pas effectué de correction tenant compte de la variation de résistance des enroulements avec la température.

## SECTION TROIS — MACHINES A INDUCTION POLYPHASÉES

### 8. **Pertes à comprendre**

Les pertes totales peuvent être considérées comme la somme des pertes suivantes:

#### 8.1 *Pertes constantes*

- a) Pertes dans le fer et pertes supplémentaires à vide dans les autres parties métalliques.
- b) Pertes dues au frottement (paliers et balais s'ils ne sont pas relevés en fonctionnement) à l'exclusion des pertes dans un système de graissage séparé. Les pertes dans les paliers communs doivent être indiquées séparément, que ces paliers soient fournis ou non avec la machine.

*Note.* — Si l'on doit indiquer les pertes dans un système de graissage séparé, celles-ci doivent être mentionnées séparément.

- c) Pertes totales par ventilation dans la machine y compris la puissance absorbée par les ventilateurs faisant partie intégrante de la machine et par les machines auxiliaires, s'il en existe, faisant partie intégrante de la machine. Les pertes dans les machines auxiliaires telles que les ventilateurs extérieurs, pompes à eau et à huile ne faisant pas partie intégrante de la machine, mais destinées exclusivement à la machine en question, ne doivent être comprises que sur accord.

*Note.* — Si l'on doit indiquer les pertes dans un système de ventilation séparé, elles doivent être mentionnées séparément.

#### 8.2 *Pertes en charge*

- a) Pertes par effet Joule dans les enroulements primaires.
- b) Pertes par effet Joule dans les enroulements secondaires.
- c) Pertes électriques dans les balais (s'il y a lieu).

7.2.3 *Mechanical back-to-back test*

When identical machines are run at essentially the same rated conditions, the losses are assumed to be equally distributed, and the efficiency is calculated from half the total losses and the electrical input (in the case of a motor) or electrical output (in the case of a generator).

The test shall be made as nearly as possible at the temperature attained in operation at the end of the time specified in the rating. No winding temperature correction shall be made.

7.2.4 *Electrical back-to-back test (see Clause 16)*

When identical machines are run at essentially the same rated conditions, the losses supplied from the electrical system are assumed to be equally distributed and the efficiency is calculated as in Sub-clause 7.2.3.

The test shall be made as nearly as possible at the temperature attained in operation at the end of the time specified in the rating. No winding temperature correction shall be made.

SECTION THREE — POLYPHASE INDUCTION MACHINES

8. **Losses to be included**

The total losses may be taken as the sum of the following component losses:

8.1 *Constant losses*

- a) Losses in active iron, and additional no-load losses in other metal parts.
- b) Losses due to friction (bearings and brushes, if not lifted during operation) not including any losses in a separate lubricating system. Losses in common bearings shall be stated separately whether or not such bearings are supplied with the machine.

*Note.* — When the losses in a separate lubricating system are required these should be listed separately.

- c) The total windage loss in the machine, including power absorbed in integral fans, and in auxiliary machines, if any, forming an integral part of the machine. The losses in auxiliary machines such as external fans, water and oil pumps not forming an integral part of the machine, but provided exclusively for the machine in question, shall be included only by agreement.

*Note.* — When the losses in a separate ventilating system are required they should be listed separately.

8.2 *Load losses*

- a)  $I^2R$  losses in primary windings.
- b)  $I^2R$  losses in secondary windings.
- c) Electrical losses in brushes (if any).

### 8.3 *Pertes supplémentaires en charge*

- a) Pertes supplémentaires en charge dans le fer et les autres parties métalliques autres que les conducteurs.
- b) Pertes par courants de Foucault dans les conducteurs d'enroulements primaires ou secondaires, dues à la pulsation du flux dépendant du courant.

*Notes 1.* — Les pertes, paragraphes a) et b), sont parfois dites pertes supplémentaires, mais ne comprennent pas les pertes supplémentaires à vide mentionnées au paragraphe 8.1 a).

- 2. — Dans le cas des machines auxiliaires telles que les compensateurs de phase entraînés mécaniquement par l'arbre principal, les pertes doivent être comprises de la même façon que les pertes dans l'excitatrice dans le cas des machines synchrones. Les pertes dans les compensateurs de phase ou appareils de régulation entraînés séparément doivent être indiquées séparément pour le régime nominal de la machine. Ces pertes doivent être déterminées par la méthode normale pour le type d'appareil considéré.

## 9. **Détermination du rendement**

### 9.1 *Totalisation des pertes*

Le rendement peut être calculé à partir des pertes totales, considérées comme la somme des pertes déterminées de la façon suivante:

#### 9.1.1 *Pertes constantes*

##### 9.1.1.1 *Essai à vide à la tension nominale*

La somme des pertes constantes, paragraphes 8.1 a), b) et c), se détermine par la méthode du fonctionnement en moteur à vide. La machine est alimentée à sa tension et à sa fréquence nominales. La puissance absorbée, diminuée des pertes par effet Joule dans l'enroulement primaire, donne le total des pertes constantes. Les pertes par effet Joule dans l'enroulement secondaire peuvent être négligées.

##### 9.1.1.2 *Essais avec machine auxiliaire tarée (voir article 13)*

Les pertes constantes peuvent être déterminées séparément en entraînant la machine, séparée du réseau, à sa vitesse nominale au moyen d'un moteur taré (voir paragraphe 9.2.2). Avec les balais en place, s'il y a lieu, la puissance absorbée sur l'arbre par la machine, qui se déduit de la puissance électrique absorbée par le moteur taré, donne le total des pertes, paragraphes 8.1 b) et 8.1 c). Avec les balais relevés, s'il y a lieu, on obtient de même la somme des pertes par frottement dans les paliers et des pertes totales par ventilation. Les pertes définies au paragraphe 8.1 a) se déduisent des précédentes par différence, à partir de l'essai au paragraphe 9.1.1.1.

##### 9.1.1.3 *Essai à vide à tension variable*

Les pertes définies au paragraphe 8.1 a) et la somme des pertes définies au paragraphe 8.1 b) et c) peuvent être également déterminées séparément en faisant fonctionner la machine en moteur à vide à sa fréquence nominale, mais à des tensions différentes. La puissance absorbée,

8.3 *Additional load losses*

- a) Losses introduced by load in active iron and other metal parts other than the conductors.
- b) Eddy current losses in primary or secondary winding conductors caused by current dependent flux pulsation.

*Notes 1.* — Losses, Sub-clause 8.3 a) and b), are sometimes called additional losses, but they do not include the additional no-load losses in Sub-clause 8.1 a).

- 2. — In the case of auxiliary machines such as phase advancers driven mechanically from the main shaft, the losses should be included in the same way as the exciter losses are included for synchronous machines. Losses in separately driven phase advancers or regulating equipment should be given separately for rated operating conditions of the main machine. These losses should be determined by the standard method for the types of apparatus involved.

9. **Determination of efficiency**

9.1 *Summation of losses*

The efficiency can be calculated from the total losses which are assumed to be the summation of the losses obtained in the following manner:

9.1.1 *Constant losses*

9.1.1.1 *No-load test at rated voltage*

The sum of the constant losses, Sub-clause 8.1 a), b) and c), is determined by running the machine as a motor on no-load. The machine is fed at its rated voltage and frequency. The power absorbed, decreased by the  $I^2R$  losses in the primary winding, gives the total of the constant losses. The  $I^2R$  losses in the secondary winding may be neglected.

9.1.1.2 *Calibrated machine test (see Clause 13)*

The constant losses may be determined separately by driving the machine, disconnected from the network, at its rated speed by means of a calibrated motor (see Sub-clause 9.2.2). With the brushes, if any, in place, the power absorbed at the shaft of the machine, which may be deduced from the electrical power absorbed by the calibrated motor, gives the sum of the losses in Sub-clause 8.1 b) and 8.1 c). With the brushes, if any, lifted the sum of the bearing friction losses and the total windage losses is obtained in the same manner. The losses described in Sub-clause 8.1 a) may be obtained from the test described in Sub-clause 9.1.1.1 by subtraction.

9.1.1.3 *No-load test at variable voltage*

The losses described in Sub-clause 8.1 a) and the sum of the losses described in Sub-clause 8.1 b) and c) may alternatively be separated by running the machine as a motor at rated frequency but at different voltages. The power absorbed, less the  $I^2R$  losses in the primary

diminuée des pertes par effet Joule dans l'enroulement primaire, est reportée sur un diagramme en fonction du carré de la tension. On obtient ainsi, aux faibles saturations, une ligne droite qui peut être extrapolée jusqu'à une valeur nulle de la tension de façon à donner la somme des pertes, paragraphe 8.1 *b*) et *c*).

Il ne faut pas oublier qu'à très faible tension les pertes reportées sur le diagramme peuvent être élevées en raison de l'augmentation des pertes dans l'enroulement secondaire lorsque le glissement devient important. Cette partie du diagramme doit donc être laissée de côté lors du tracé de la ligne droite.

Si le moteur est démarré avec un enroulement secondaire en court-circuit et avec les balais relevés (ce qui est possible si l'alternateur qui fournit l'alimentation est démarré en même temps que le moteur), les pertes par frottement et les pertes totales par ventilation s'obtiennent par extrapolation à une valeur nulle de la tension comme ci-dessus.

*Note.* — Pour les moteurs à rotor bobiné, un essai à vide au synchronisme peut être effectué comme pour une machine synchrone, en alimentant deux phases du rotor (ou éventuellement trois) par une excitation en courant continu.

### 9.1.2 *Pertes dépendant du courant*

#### 9.1.2.1 *Essai en charge*

Les pertes définies au paragraphe 8.2 *a*) sont calculées à partir des résistances des enroulements primaires, mesurées en courant continu et ramenées à la température de référence, et du courant correspondant à la charge à laquelle les pertes sont calculées.

Pour déterminer les pertes définies au paragraphe 8.2 *b*) lorsqu'un essai en charge est fait, les pertes dans l'enroulement secondaire sont prises égales au produit du glissement par la puissance totale transmise à l'enroulement secondaire, c'est-à-dire la puissance absorbée diminuée des pertes dans le fer, paragraphe 8.1 *a*), et des pertes par effet Joule dans l'enroulement primaire, paragraphe 8.2 *a*). Cette méthode donne directement la somme des pertes, paragraphes 8.2 *b*) et 8.2 *c*) pour les machines à bagues, et des pertes, paragraphe 8.2 *b*) pour les machines à cage. Elle est la seule applicable pour ce dernier type de machines, où la mesure directe des résistances et du courant de l'enroulement secondaire n'est pas possible. Lorsqu'il est fait usage de cette méthode, le glissement peut être mesuré par une méthode stroboscopique, ou en comptant les battements d'un millivoltmètre à aimant permanent connecté entre deux bagues (pour les moteurs à rotor bobiné), ou aux bornes d'une bobine auxiliaire (pour les moteurs à rotor en court-circuit), ou encore entre les extrémités de l'arbre.

#### 9.1.2.2 *Valeurs calculées*

Pour les moteurs à rotor bobiné, les pertes définies au paragraphe 8.2 *b*) peuvent être calculées à partir des résistances, mesurées en courant continu et ramenées à la température de référence, et du courant secondaire déduit du diagramme du cercle ou d'un circuit équivalent compte tenu du rapport de transformation vrai de la machine. Le type de diagramme du cercle à utiliser doit faire l'objet d'un accord entre constructeur et acheteur.

Pour l'essai en charge, les pertes dans les balais, paragraphe 8.2 *c*), ne peuvent pas être mesurées directement. Elles sont alors prises égales au produit du courant passant dans les balais par une chute de tension déterminée. La chute de tension dans tous les balais d'une même phase est prise égale à 1,0 V pour les balais en carbone ou en graphite, et à 0,3 V pour les balais en carbone métallisé.

winding, is plotted against the square of the voltage. This, at low values of saturation, will give a straight line which can be extrapolated to zero voltage to give the sum of the losses, Sub-clause 8.1 *b*) and *c*).

It should be borne in mind that at very low voltages, losses plotted on the diagram may be high because of the increased secondary winding losses with increased slip. When plotting the straight line, those values should not be taken into account.

If the motor is started with a short-circuited secondary winding and the brushes are lifted (which is possible if the supply generator is started at the same time as the motor) the bearing friction and total windage losses are obtained at zero voltage by extrapolation as above.

*Note.* — For wound rotor motors a synchronous no-load test can be carried out as for synchronous machines with d. c. excitation in two rotor phases (or three if desired).

### 9.1.2 *Load losses*

#### 9.1.2.1 *Load test*

The losses described in Sub-clause 8.2 *a*) are calculated from the resistance of the primary windings measured using direct current and corrected to the reference temperature, and from the current corresponding to the load at which the losses are being calculated.

To determine the losses in Sub-clause 8.2 *b*) when an on-load test is made, the secondary winding losses are taken to be equal to the product of the slip and the total power transmitted to the secondary winding, i. e. the power absorbed, decreased by the core losses in Sub-clause 8.1 *a*) and the  $I^2R$  losses in the primary winding in Sub-clause 8.2 *a*). This method gives directly the sum of the losses in Sub-clauses 8.2 *b*) and 8.2 *c*) for wound rotor machines, and the losses in Sub-clause 8.2 *b*) for cage machines. For this latter type of machine, this is the only applicable method as it is not possible to measure the resistance and current of the secondary winding directly. When use is made of this method, the slip may be measured by a stroboscopic method or by counting the beats of a permanent-magnet millivoltmeter connected between two rings (for motors with wound secondary windings) or the terminals of an auxiliary coil (for motors with short-circuited secondary windings) or between the ends of the shaft.

#### 9.1.2.2 *Calculated values*

For wound rotor motors, the losses in Sub-clause 8.2 *b*) may be calculated from the resistance measured by direct current and corrected to the reference temperature, and from the secondary current calculated from a circle diagram or equivalent circuit, account being taken of the true transformation ratio of the machine. The type of circle diagram to be used should be agreed between manufacturer and purchaser.

To make an on-load test, the losses in Sub-clause 8.2 *c*) in the brushes cannot be measured directly and these losses shall be taken as the product of the current flowing in the brushes and a fixed voltage drop. The voltage drop in all brushes of the same phase shall be taken as 1.0 V for carbon or graphite brushes, and 0.3 V for metal-carbon brushes.

### 9.1.2.3 Essai en charge à tension réduite

Cette méthode est également applicable aux machines à rotor à cage.

Lorsqu'on réduit la tension en maintenant la vitesse de rotation à une valeur constante, les courants diminuent à peu près proportionnellement à la tension et la puissance à peu près proportionnellement au carré de la tension. Lorsque la tension est réduite à la moitié de sa valeur nominale, les courants sont réduits environ à la moitié et la puissance environ au quart de leur valeur à la tension nominale.

Lorsqu'on applique une charge à un moteur à induction à la tension réduite  $U_r$ , on mesure la puissance absorbée  $P_{lr}$ , le courant primaire principal  $I_{lr}$  et le glissement  $s$  ainsi que le courant à vide  $I_{or}$  à la même tension réduite  $U_r$  et le courant à vide  $I_o$  à la tension nominale  $U_n$ .

Le vecteur du courant  $I_1$  de la charge à la tension nominale s'obtient par construction d'un diagramme vectoriel (figure 3, page 55) de la façon suivante:

Au vecteur du courant  $I_n$ , multiplié par le rapport

$$\frac{\text{tension nominale}}{\text{tension réduite}} = \frac{U_n}{U_r}$$

on ajoute le vecteur:

$$\Delta I_o = I_o \sin \varphi_o - I_{or} \left( \frac{U_n}{U_r} \right) \sin \varphi_{or}$$

Le vecteur résultant représente le courant qui s'établirait à la tension nominale  $U_n$  pour la puissance absorbée suivante:

$$P_1 = P_{lr} \left( \frac{U_n}{U_r} \right)^2$$

à l'aide des valeurs  $I_1$  et  $P_1$  ainsi déterminées et du glissement  $s$ , mesuré à tension réduite, on peut alors calculer les pertes dépendant du courant, comme indiqué au paragraphe 9.1.2.1.

### 9.1.3 Pertes supplémentaires en charge

Sauf spécification contraire, on admet que les pertes définies aux paragraphes 8.3 a) et 8.3 b) varient comme le carré du courant primaire et que leur valeur totale à pleine charge est égale à 0,5% de la puissance nominale absorbée pour les moteurs et 0,5% de la puissance nominale utile pour les génératrices.

*Note.* — Pour certains types de petites machines, ces pertes peuvent être supérieures à 0,5% de la puissance nominale. Si, dans un cas particulier, leur valeur présente de l'importance, les pertes doivent être déterminées par la méthode directe de mesure du rendement.

## 9.2 Mesure globale des pertes

### 9.2.1 Essai au frein

La machine tournant dans les conditions nominales de vitesse, tension et courant, le rendement est pris égal au rapport de la puissance utile à la puissance absorbée.

### 9.1.2.3 Load test at reduced voltage

This method is also applicable to cage rotor machines.

When the voltage is reduced, while keeping the rotational speed of the machine constant, the currents diminish approximately in proportion to the voltage, and the power approximately in proportion to the square of the voltage. When the voltage is down to half its rated value, the currents will then be reduced to about one half, and the power to about one quarter, of their values at the rated voltage.

When a load is applied to an induction motor at a reduced voltage  $U_r$ , the power absorbed  $P_{lr}$ , the main primary current  $I_{lr}$  and the slip  $s$  are measured, as well as the no-load current  $I_{or}$  at the same reduced voltage  $U_r$ , and the no-load current  $I_o$  at the rated voltage  $U_n$ .

The current vector  $I_l$  of the load at rated voltage is obtained by constructing a vector diagram (Figure 3, page 55) in the following manner:

To the current vector  $I_{lr}$ , multiplied by the ratio

$$\frac{\text{rated voltage}}{\text{reduced voltage}} = \frac{U_n}{U_r}$$

add the vector:

$$\Delta I_o = I_o \sin \varphi_o - I_{or} \left( \frac{U_n}{U_r} \right) \sin \varphi_{or}$$

The resultant vector represents the current which would flow at the rated voltage  $U_n$  for the following absorbed power:

$$P_1 = P_{lr} \left( \frac{U_n}{U_r} \right)^2$$

By means of the values  $I_l$ ,  $P_1$ , thus determined, and with the slip  $s$  measured at reduced voltage, it is then possible to calculate the on-load losses, as indicated in Sub-clause 9.1.2.1.

### 9.1.3 Additional load losses

Unless otherwise specified, it is assumed that the losses specified in Sub-clauses 8.3 a) and 8.3 b) vary as the square of the primary current and that their total value at full load is equal to 0.5% of the rated input for motors and 0.5% of the rated output for generators.

*Note.* — For some designs of small machines these losses might be higher than 0.5% of the rated input. If, for a particular case, the value is of importance, the loss should be determined by the direct method of efficiency measurement.

## 9.2 Total loss measurement

### 9.2.1 Braking test

When the machine is run at rated conditions of speed, voltage and current, the efficiency is taken as the ratio of output to input.

L'essai doit être effectué à une température aussi voisine que possible de celle atteinte en fonctionnement à la fin du temps spécifié dans le service nominal. Il n'est pas effectué de correction tenant compte de la variation de résistance des enroulements avec la température.

9.2.2 *Essai avec machine auxiliaire tarée* (voir article 13)

La machine tournant dans les conditions nominales de vitesse, tension et courant conformément au paragraphe 13, le rendement est pris égal au rapport de la puissance utile à la puissance absorbée.

L'essai doit être effectué à une température aussi voisine que possible de celle atteinte en fonctionnement à la fin du temps spécifié dans le service nominal. Il n'est pas effectué de correction tenant compte de la variation de résistance des enroulements avec la température.

9.2.3 *Essai en opposition*

Les machines identiques tournant dans des conditions nominales qui sont pratiquement les mêmes, les pertes sont considérées comme également réparties et le rendement se calcule à partir de la moitié des pertes totales et de la puissance électrique absorbée. La machine entraînée fonctionne en génératrice asynchrone si on dispose d'une source de puissance réactive magnétisante et si l'on connecte à ses bornes une charge appropriée.

L'essai doit être effectué à une température aussi voisine que possible de celle atteinte en fonctionnement à la fin du temps spécifié dans le service nominal. Il n'est pas effectué de correction tenant compte de la variation de résistance des enroulements avec la température.

9.2.4 *Essai en opposition avec marche en parallèle sur un réseau* (voir article 16)

Les machines identiques tournant dans des conditions nominales qui sont pratiquement les mêmes, les pertes couvertes par le réseau sont considérées comme également réparties et le rendement est calculé à partir de la moitié des pertes totales et de la puissance électrique absorbée par l'une des machines.

L'essai doit être effectué à une température aussi voisine que possible de celle atteinte en fonctionnement à la fin du temps spécifié dans le service nominal. Il n'est pas effectué de correction tenant compte de la variation de résistance des enroulements avec la température.

*Note.* — S'il y a lieu d'utiliser une boîte d'engrenages, comme c'est le cas pour les moteurs à induction, il faut déduire les pertes dans celle-ci de la puissance électrique absorbée avant de déterminer les pertes de la machine électrique.

## SECTION QUATRE — MACHINES SYNCHRONES

### 10. Pertes à comprendre

Les pertes totales peuvent être considérées comme égales à la somme des pertes suivantes:

#### 10.1 *Pertes constantes*

- a) Pertes dans le fer et pertes supplémentaires à vide dans les autres parties métalliques.
- b) Pertes dues au frottement (paliers et balais) à l'exclusion des pertes dans un système de graissage séparé. Les pertes dans les paliers communs doivent être indiquées séparément,

The test shall be made as nearly as possible at the temperature attained in operation at the end of the time specified in the rating. No winding temperature correction shall be made.

9.2.2 *Calibrated machine test* (see Clause 13)

When the machine is running in accordance with Clause 13 at rated conditions of speed, voltage and current, the efficiency is then taken as the ratio of output to input.

The test shall be made as nearly as possible at the temperature attained in operation at the end of the time specified in the rating. No winding temperature correction shall be made.

9.2.3 *Mechanical back-to-back test*

When identical machines are run at essentially the same rated conditions, the losses are assumed to be equally distributed, and the efficiency is calculated from half the total losses and the electrical input. The driven machine will operate as an induction generator if a source of reactive power is provided, and a suitable load is connected to its terminals.

The test shall be made as nearly as possible at the temperature attained in operation at the end of the time specified in the rating. No winding temperature correction shall be made.

9.2.4 *Electrical back-to-back test* (see Clause 16)

When identical machines are run at essentially the same rated conditions, the losses supplied from the electrical system are assumed to be equally distributed and the efficiency is calculated from half the total losses and the electrical input to one machine.

The test shall be made as nearly as possible at the temperature attained in operation at the end of the time specified in the rating. No winding temperature correction shall be made.

*Note.* — Where a gear box is required, as in the case of induction motors, it is necessary for the loss in this to be deducted from the electrical input before determining the losses in the electrical machine.

## SECTION FOUR — SYNCHRONOUS MACHINES

10. **Losses to be included**

The total losses may be taken as the sum of the following component losses:

10.1 *Constant losses*

- a) Losses in active iron, and additional no-load losses in other metal parts.
- b) Losses due to friction (bearings and brushes), not including any losses in a separate lubricating system. Losses in common bearings shall be stated separately whether or not such

que ces paliers soient fournis ou non avec la machine. Pour les alternateurs hydrauliques et les moteurs synchrones pour pompes d'accumulation, les pertes dans les paliers de butée et, si les paliers de butée sont combinés avec des paliers guides, les pertes totales dans ceux-ci doivent être indiquées séparément. La poussée, la température des paliers et la qualité de l'huile pour lesquelles le chiffre des pertes est applicable doivent également être indiquées.

*Note.* — Si l'on doit indiquer les pertes dans un système de graissage séparé, elles doivent être mentionnées séparément.

- c) Pertes totales par ventilation dans la machine y compris la puissance absorbée par les ventilateurs faisant partie intégrante de la machine et par les machines auxiliaires, s'il en existe, faisant partie intégrante de la machine. Les pertes dans les machines auxiliaires telles que les ventilateurs extérieurs, pompes à eau et à huile ne faisant pas partie intégrante de la machine, mais destinées exclusivement à la machine en question, ne doivent être comprises que sur accord.

*Note.* — Si l'on doit indiquer les pertes dans un système de ventilation séparé, elles doivent être mentionnées séparément.

## 10.2 *Pertes en charge*

- a) Pertes par effet Joule dans les enroulements primaires.  
b) Pertes par effet Joule dans les enroulements de démarrage ou amortisseurs.

*Note.* — Ces pertes ne présentent d'importance que dans le cas des machines monophasées.

## 10.3 *Pertes dans le circuit d'excitation*

- a) Pertes par effet Joule dans les enroulements et rhéostats d'excitation.  
b) Toutes les pertes dans l'excitatrice lorsque celle-ci, formant partie intégrante d'un ensemble complet, est entraînée mécaniquement par l'arbre principal, et est utilisée exclusivement pour l'excitation de la machine, ainsi que les pertes dans le rhéostat d'excitation de cette excitatrice, à l'exception des pertes par frottement et par ventilation.

Les pertes dans les redresseurs tournants et dans les engrenages, courroies ou transmissions analogues entre l'arbre et l'excitatrice doivent être comprises.

Toutes les pertes dans tout appareil d'auto-excitation et de réglage recevant sa puissance du réseau à courant alternatif relié aux bornes de la machine synchrone.

Dans le cas d'une excitation séparée, fournie par des moyens tels que batterie, redresseur ou groupe moteur-générateur, il n'y a pas à tenir compte des pertes dans la source d'excitation ou dans les connexions entre la source et les balais.

- c) Pertes électriques dans les balais.

## 10.4 *Pertes supplémentaires en charge*

- a) Pertes supplémentaires dans le fer et les autres parties métalliques autres que les conducteurs.  
b) Pertes par courants de Foucault dans les conducteurs de l'enroulement primaire.

bearings are supplied with the machine. For water-driven generators and synchronous motors for pump storage schemes, the losses in thrust bearings, and if the thrust bearings are associated with guide bearings the total losses in those bearings, shall be stated separately. The thrust-load, temperature of the bearings, and type of oil and oil temperature at which the loss values are valid shall also be given.

*Note.* — When the losses in a separate lubricating system are required these should be listed separately.

- c) The total windage loss in the machine including power absorbed in integral fans, and in auxiliary machines, if any, forming an integral part of the machine. The losses in auxiliary machines such as external fans, water and oil pumps not forming an integral part of the machine, but provided exclusively for the machine in question, shall be included only by agreement.

*Note.* — When the losses in a separate ventilating system are required they should be listed separately.

## 10.2 *Load losses*

- a)  $I^2R$  losses in primary windings.
- b)  $I^2R$  losses in starting or damping windings.

*Note.* — These are significant only for single-phase machines.

## 10.3 *Excitation circuit losses*

- a)  $I^2R$  losses in the excitation windings and in the excitation rheostats.
- b) All the losses in an exciter mechanically driven from the main shaft which forms part of the complete unit, and is used solely for exciting the machine, together with losses in the rheostat in the excitation circuit of such an exciter, but with the exception of friction and windage losses.

Losses in rotary rectifiers and in a gear, rope or belt, or similar drive between shaft and exciter should be included.

All the losses in any apparatus for self-excitation and regulation receiving its input from the a.c. supply connected to the terminals of the synchronous machine.

In the case of a separate excitation supply such as a battery, rectifier or motor generator set, no allowance is made for the losses in the excitation source or in the connections between the source and the brushes.

- c) The electrical losses in brushes.

## 10.4 *Additional load losses*

- a) Losses introduced by load in active iron and other metal parts other than the conductors.
- b) Eddy current losses in primary winding conductors.

## 11. Détermination du rendement

### 11.1 Totalisation des pertes

Le rendement peut être calculé à partir des pertes totales, considérées comme la somme des pertes déterminées de la façon suivante:

#### 11.1.1 Pertes dans le circuit d'excitation

##### 11.1.1.1 Pertes par effet Joule dans le circuit d'excitation

Ces pertes sont calculées par la formule  $RI^2$ , dans laquelle  $R$  est la résistance de l'enroulement d'excitation ramenée à la température de référence, et  $I$  la valeur du courant d'excitation pour le régime considéré de la machine, mesurée directement lors d'un essai en charge, ou calculée lorsque cet essai n'est pas possible. Dans ce dernier cas, la méthode de calcul doit faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur.

##### 11.1.1.2 Pertes dans le rhéostat principal

Ces pertes sont calculées par la formule  $RI^2$ , en admettant pour  $R$  la résistance de la partie du rhéostat en circuit pour le régime considéré et pour  $I$  la valeur du courant d'excitation pour le régime considéré de la machine, défini au paragraphe 11.1.1.1 ci-dessus. Elles sont aussi égales au produit  $IU$  du courant d'excitation au régime considéré par la tension  $U$  aux bornes du rhéostat.

*Note.* — Quand une résistance est reliée en permanence en série dans le circuit d'excitation, elle doit être prise en compte de la même façon que le rhéostat principal.

##### 11.1.1.3 Pertes électriques dans les balais

La somme de ces pertes est prise égale au produit du courant d'excitation au régime considéré par une chute de tension déterminée. Cette chute de tension est fixée, pour tous les balais d'une même polarité, à 1,0 V pour les balais en carbone ou en graphite, et à 0,3 V pour les balais en carbone métallisé, c'est-à-dire que la chute de tension totale est de 2,0 V pour les balais en carbone ou en graphite et de 0,6 V pour les balais en carbone métallisé.

La somme des pertes conformément aux paragraphes 11.1.1.1, 11.1.1.2 et 11.1.1.3, est aussi égale au produit  $IU_e$  du courant d'excitation  $I$  par la tension totale d'excitation  $U_e$ .

##### 11.1.1.4 Pertes dans l'excitatrice

*Note.* — Seulement dans le cas où l'excitatrice est entraînée mécaniquement par l'arbre principal et est utilisée exclusivement pour l'excitation de la machine synchrone.

Ces pertes comprennent l'excès de la puissance absorbée sur l'arbre par l'excitatrice sur la puissance utile qu'elle fournit à ses bornes\*, ainsi que les pertes d'excitation de l'excitatrice si elle est elle-même excitée par une source séparée.

\* La puissance utile aux bornes de l'excitatrice est égale à la somme des pertes conformément aux paragraphes 11.1.1.1, 11.1.1.2 et 11.1.1.3, de la machine principale.

## 11. Determination of efficiency

### 11.1 Summation of losses

The efficiency can be calculated from the total losses which are assumed to be the summation of the losses obtained in the following manner:

#### 11.1.1 Excitation circuit losses

##### 11.1.1.1 Excitation winding $I^2R$ losses

These losses are calculated from the formula  $I^2R$ , taking for  $R$  the resistance of the excitation winding corrected to the reference temperature, and for  $I$  the value of the exciting current for the particular rating of the machine, measured directly during the on-load test or calculated when this test is not possible. Where such a calculation is made, the method to be used is for agreement between manufacturer and purchaser.

##### 11.1.1.2 Main rheostat losses

These losses are calculated from the formula  $I^2R$ , where  $R$  is the resistance of the part of the rheostat in circuit for the rating considered, and  $I$  is the value of the exciting current for the rating considered defined as in Sub-clause 11.1.1.1. They are also equal to the product  $IU$  of the excitation current at the particular rating, and the voltage  $U$  at the terminals of the rheostat.

*Note.* — Where a resistance is permanently connected in series in the excitation circuit it should be dealt with in the same way as the main rheostat.

##### 11.1.1.3 Electrical losses in brushes

The sum of these losses shall be taken as the product of the excitation current at the rating considered and a fixed voltage drop. The voltage drop allowed for all brushes of each polarity shall be 1.0 V for carbon or graphite brushes, and 0.3 V for metal-carbon brushes, i.e. a total drop of 2.0 V for carbon or graphite brushes, and 0.6 V for metal-carbon brushes.

The sum of the losses according to Sub-clauses 11.1.1.1, 11.1.1.2 and 11.1.1.3, is also equal to the product  $IU_c$  of the exciting current  $I$  and the total excitation voltage  $U_c$ .

##### 11.1.1.4 Exciter losses

*Note.* — This applies only to the case where the exciter is mechanically driven from the main shaft and is used solely for exciting the synchronous machine.

These losses include the difference between the power absorbed at the shaft of the exciter and the useful power which it provides at the terminals of the exciter\*, and the excitation losses of the exciter if this machine itself is excited by a separate source.

---

\* The useful power at the terminals of the exciter is equal to the sum of the losses according to Sub-clauses 11.1.1.1, 11.1.1.2 and 11.1.1.3, of the main machine.

Si l'excitatrice peut être désaccouplée de la machine principale et essayée séparément, la puissance qu'elle absorbe peut être mesurée par la méthode du moteur taré.

Si elle ne peut être désaccouplée de la machine principale, la puissance qu'elle absorbe peut être mesurée, soit par la méthode de la machine tarée, soit par la méthode de ralentissement appliquée au groupe complet. Dans ces deux méthodes, la puissance absorbée par l'excitatrice s'obtient par différence entre les pertes totales du groupe mesurées dans des conditions identiques, soit avec l'excitatrice en charge, soit avec l'excitatrice non excitée, l'excitation étant fournie par une source indépendante.

Si aucune de ces méthodes n'est applicable, les pertes séparées doivent être déterminées comme indiqué à l'article 6 pour les machines à courant continu (voir paragraphe 7.1.1.3, dernier paragraphe).

*Note.* — Le constructeur et l'acheteur doivent se mettre d'accord sur la méthode à utiliser pour déterminer les pertes dans les appareils d'auto-excitation et de réglage de la tension recevant leur puissance du réseau à courant alternatif relié aux bornes de la machine.

### 11.1.2 *Pertes indépendantes du courant*

#### 11.1.2.1 *Essai au facteur de puissance unité à la tension et à la fréquence nominales*

La somme des pertes constantes est déterminée généralement par la méthode du fonctionnement en moteur à vide. La machine synchrone est alimentée à sa tension nominale et à sa fréquence nominale de manière à fonctionner en moteur à vide. L'excitation est réglée de façon que la machine absorbe le courant minimal. La puissance électrique absorbée, diminuée des pertes Joule dans les enroulements primaires et, s'il y a lieu, de la puissance absorbée par l'excitatrice, donne la somme des pertes indépendantes du courant.

*Note.* — On peut éviter cette dernière correction en utilisant une source d'excitation séparée.

#### 11.1.2.2 *Essai à circuit ouvert*

La somme des pertes constantes, paragraphes 10.1 a), 10.1 b) et 10.1 c), les pertes, paragraphe 10.1 a), et la somme des pertes, paragraphes 10.1 b) et 10.1 c) peuvent également être déterminées en entraînant la machine à sa vitesse nominale au moyen d'un moteur taré. La machine étant excitée par une source indépendante de façon à fonctionner en alternateur à vide sous une tension égale à sa tension nominale, la puissance qu'elle absorbe sur son arbre, et qui se déduit de la puissance électrique absorbée par le moteur taré, donne la somme des pertes, paragraphes 10.1 a), 10.1 b) et 10.1 c). En supprimant l'excitation, on obtient de la même façon la somme des pertes, paragraphes 10.1 b) et 10.1 c). Les pertes dans le fer 10.1 a) s'en déduisent par différence. Etant donné le petit nombre de balais utilisés sur les machines synchrones, il n'est généralement pas possible de séparer, au moyen d'un essai avec les balais relevés, les pertes par frottement des balais de la somme des autres pertes constantes.

#### 11.1.2.3 *Essai de ralentissement (voir article 15)*

La somme des pertes constantes, paragraphes 10.1 a), 10.1 b) et 10.1 c), les pertes, paragraphe 10.1 a), et la somme des pertes, paragraphes 10.1 b) et 10.1 c), peuvent être déterminées en utilisant la méthode de ralentissement.

If the exciter can be uncoupled from the main machine and tested separately, the power which it absorbs may be measured by the calibrated machine method.

If the exciter cannot be uncoupled from the main machine, the power which it absorbs may be measured either by the calibrated machine method or by the retardation method applied to the whole unit. In these two methods, the power absorbed by the exciter is obtained as the difference between the total losses of the unit measured under identical conditions, first with the exciter on-load and secondly with the exciter not excited, the excitation being furnished by an independent source.

If none of these methods is applicable, the separate losses should be determined as described under Clause 6 for d. c. machines (see Sub-clause 7.1.1.3, last paragraph).

*Note.* — The manufacturer and purchaser should agree on the method of determining the losses in apparatus for self-excitation and regulation receiving their input from the a. c. lines connected to the terminals of the machine.

### 11.1.2 *Constant losses*

#### 11.1.2.1 *Unity power factor test at rated voltage and frequency*

The sum of the constant losses is generally determined by the method of running the machine as a motor on no-load. The synchronous machine is fed at its rated voltage and rated frequency, so as to work as a motor on no-load. The excitation is adjusted so that the machine absorbs the minimum a. c. current. The electrical power absorbed, decreased by the  $I^2R$  loss in the primary windings, and, if appropriate, by the power absorbed by the exciter, gives the sum of the constant losses.

*Note.* — This latter correction may be avoided by the use of a separate source of excitation power.

#### 11.1.2.2 *Open circuit test*

The sum of the constant losses, Sub-clauses 10.1 *a)*, 10.1 *b)* and 10.1 *c)*, the losses Sub-clause 10.1 *a)*, and the sum of the losses, Sub-clauses 10.1 *b)* and 10.1 *c)*, may also be determined by driving the machine at its rated speed by means of a calibrated machine. The machine is excited by an independent source so as to work as a generator with open circuit at a voltage equal to its rated voltage. The power which it absorbs at its shaft, and which may be calculated from the power absorbed from the calibrated motor, gives the sum of the constant losses Sub-clauses 10.1 *a)*, 10.1 *b)* and 10.1 *c)*. By removing the excitation, the sum of the losses, Sub-clauses 10.1 *b)* and 10.1 *c)* is obtained in the same manner. The core losses Sub-clause 10.1 *a)* are obtained by subtraction. Given the small number of brushes used on synchronous machines, it is generally not possible to separate the brush friction losses from the sum of the other constant losses by means of a test with the brushes lifted.

#### 11.1.2.3 *Retardation test (see Clause 15)*

The sum of the constant losses Sub-clauses 10.1 *a)*, 10.1 *b)* and 10.1 *c)*, the losses Sub-clause 10.1 *a)* and the sum of the losses, Sub-clauses 10.1 *b)* and 10.1 *c)* may be determined by using the retardation method

#### 11.1.2.4 *Essai au facteur de puissance unité à tension variable*

Les pertes, paragraphes 10.1 a), 10.1 b) et 10.1 c), peuvent être séparées en faisant fonctionner la machine en moteur à sa fréquence nominale, mais à des tensions différentes, comme indiqué au paragraphe 9.1.1.3 de la section trois.

Le facteur de puissance doit être maintenu à la valeur unité par ajustage du courant d'excitation pendant l'essai.

#### 11.1.2.5 *Essai à des densités variables de gaz de refroidissement*

Dans le cas des machines refroidies par un gaz, les pertes totales par ventilation peuvent être séparées des pertes par frottement au moyen d'essais effectués à des densités différentes du gaz de refroidissement.

*Note.* — Des essais à différentes vitesses sont à l'étude.

#### 11.1.2.6 *Essai calorimétrique (voir article 17)*

Les pertes dans les paliers peuvent être déterminées séparément, quand c'est possible, par la méthode calorimétrique.

*Note.* — Les essais relatifs aux pertes dans les paliers de butée éventuellement combinés avec des paliers-guides dans les machines à arbre vertical ne doivent être effectués que sur accord.

#### 11.1.3 *Pertes en charge*

Ces pertes sont les suivantes:

- Pertes par effet Joule dans les enroulements d'induit.
- Les pertes par effet Joule dans les enroulements d'induit sont mesurées normalement au cours de l'essai en court-circuit, décrit au paragraphe 11.1.4.

Lorsqu'elles doivent être indiquées séparément, ces pertes sont calculées en partant du courant nominal et de la résistance des enroulements ramenée à la température de référence.

#### 11.1.4 *Pertes supplémentaires en charge*

Sauf spécification contraire, la somme des pertes, paragraphes 10.4 a) et 10.4 b), est mesurée par la méthode de l'essai en court-circuit.

La machine à essayer avec son enroulement d'induit mis en court-circuit est entraînée à sa vitesse nominale et excitée de façon que le courant dans l'induit en court-circuit soit égal au courant nominal. La puissance absorbée sur l'arbre, diminuée des pertes mécaniques, paragraphes 10.1 b) et 10.1 c) ci-dessus, et de la puissance absorbée par l'excitatrice, s'il y a lieu, représente la somme des pertes normales dépendant du courant et des pertes supplémentaires, paragraphes 10.2 et 10.4. Si la réactance de fuite est anormalement élevée, comme dans le cas d'une machine à haute fréquence, on doit également faire une correction pour les pertes dans le

#### 11.1.2.4 *Unity power factor test at variable voltage*

The losses Sub-clauses 10.1 *a)*, 10.1 *b)* and 10.1 *c)* may be separated by running the machine as a motor at rated frequency, but at different voltages as described in Sub-clause 9.1.1.3 of Section Three.

The power factor shall be maintained at unity by adjusting the excitation current during the test.

#### 11.1.2.5 *Variable cooling gas density test*

For machines cooled by a gas at variable pressure, the total windage loss may be separated from the friction losses by tests at different densities of cooling gas.

*Note.* — Tests at different speeds are under consideration.

#### 11.1.2.6 *Calorimetric test (see Clause 17)*

The bearing losses may be separately determined when possible by using the calorimetric method.

*Note.* — The determination of losses in thrust bearings, possibly combined with guide bearings, in vertical shaft machines, should only be made by agreement.

#### 11.1.3 *Load losses*

These consist of:

- $I^2R$  loss in primary windings.
- The  $I^2R$  loss in primary windings is normally measured during the short-circuit test described in Sub-clause 11.1.4.

When it is to be given separately, the loss is calculated from the rated current and the resistance of the windings corrected to the reference temperature.

#### 11.1.4 *Additional load losses*

Unless otherwise specified, the sum of the losses, Sub-clauses 10.4 *a)* and 10.4 *b)* is measured by means of the short-circuit test method.

The machine to be tested, with its primary winding short-circuited, is driven at its rated speed and so excited that the current in the short-circuited primary winding is equal to the rated current. The power absorbed at the shaft, decreased by the mechanical losses, Sub-clauses 10.1 *b)* and 10.1 *c)*, and the power absorbed by the exciter, if appropriate, presents the sum of the load losses and the additional losses, Sub-clauses 10.2 and 10.4. If the leakage reactance is abnormally high, as for a machine for high frequency, a correction shall also be made for core losses. The load losses vary in different senses as a function of the temperature. The sum of the

fer. Les pertes en charge varient dans des sens différents en fonction de la température. La somme des pertes dépendant du courant et des pertes supplémentaires est supposée indépendante de la température et il n'y a pas à faire de correction pour ramener cette somme à une température de référence.

*Note.* — Il est reconnu que la somme des pertes, paragraphes 10.4 a) et 10.4 b), ainsi déterminée est généralement un peu plus élevée que les pertes existant réellement à pleine charge.

La puissance absorbée sur l'arbre de la machine pendant l'essai en court-circuit peut être mesurée soit par la méthode du moteur taré (article 13), soit par la méthode de ralentissement (article 15).

## 11.2 *Mesure globale des pertes*

### 11.2.1 *Essai au frein*

La machine tournant dans les conditions nominales de vitesse, tension et courant, le rendement est pris égal au rapport de la puissance utile à la puissance absorbée.

L'essai doit être effectué à une température aussi voisine que possible de celle atteinte en fonctionnement à la fin du temps spécifié dans le service nominal. Il n'est pas effectué de correction tenant compte de la variation de résistance des enroulements avec la température.

### 11.2.2 *Essai avec machine auxiliaire tarée (voir article 13)*

La machine tournant dans les conditions nominales de vitesse, tension et courant, le rendement est pris égal au rapport de la puissance utile à la puissance absorbée.

L'essai doit être effectué à une température aussi voisine que possible de celle atteinte en fonctionnement à la fin du temps spécifié dans le service nominal. Il n'est pas effectué de correction tenant compte de la variation de résistance des enroulements avec la température.

### 11.2.3 *Essai en opposition*

Les machines identiques tournant dans des conditions nominales qui sont pratiquement les mêmes, les pertes sont considérées comme également réparties et le rendement est calculé à partir de la moitié des pertes totales et de la puissance électrique absorbée.

L'essai doit être effectué à une température aussi voisine que possible de celle atteinte en fonctionnement à la fin du temps spécifié dans le service nominal. Il n'est pas effectué de correction tenant compte de la variation de résistance des enroulements avec la température.

### 11.2.4 *Essai en opposition avec marche en parallèle sur un réseau (voir article 16)*

Les machines identiques tournant dans des conditions nominales qui sont pratiquement les mêmes, les pertes couvertes par le réseau sont considérées comme également réparties et le rendement se calcule comme indiqué au paragraphe 11.2.3 ci-dessus.

L'essai doit être effectué à une température aussi voisine que possible de celle atteinte en fonctionnement à la fin du temps spécifié dans le service nominal. Il n'est pas effectué de correction tenant compte de la variation de résistance des enroulements avec la température.

load losses and additional losses is assumed to be independent of the temperature and no correction is made to a reference temperature.

*Note.* — It is recognized that the sum of the additional losses, Sub-clauses 10.4 a) and 10.4 b), thus determined, is generally a little higher than the losses which actually exist at rated load.

The power absorbed at the shaft of the machine during the short-circuit test may be measured by the calibrated machine method (Clause 13), or by the retardation method (Clause 15).

## 11.2 *Total loss measurement*

### 11.2.1 *Braking test*

When the machine is run at rated conditions of speed, voltage and current, the efficiency is taken as the ratio of output to input.

The test shall be made as nearly as possible at the temperature attained in operation at the end of the time specified in the rating. No winding temperature correction shall be made.

### 11.2.2 *Calibrated machine test* (see Clause 13)

When the machine is run at rated conditions of speed, voltage and current, the efficiency is taken as the ratio of output to input.

The test shall be made as nearly as possible at the temperature attained in operation at the end of the time specified in the rating. No winding temperature correction shall be made.

### 11.2.3 *Mechanical back-to-back test*

When identical machines are run at essentially the same rated conditions, the losses are assumed to be equally distributed, and the efficiency is calculated from half the total losses and the electrical input.

The test shall be made as nearly as possible at the temperature attained in operation at the end of the time specified in the rating. No winding temperature correction shall be made.

### 11.2.4 *Electrical back-to-back test* (see Clause 16)

When identical machines are run at essentially the same rated conditions, the losses are assumed to be equally distributed and the efficiency is calculated as in Sub-clause 11.2.3.

The test shall be made as nearly as possible at the temperature attained in operation at the end of the time specified in the rating. No winding temperature correction shall be made.

11.2.5 *Essai au facteur de puissance nul* (voir article 14)

La machine tournant dans les conditions nominales de vitesse, tension et courant, les pertes totales sont équivalentes à la puissance absorbée au cours de l'essai corrigée pour la différence entre les pertes de courant d'excitation effectives et celles en pleine charge.

SECTION CINQ — MÉTHODES D'ESSAIS

12. **Généralités**

Les essais peuvent être classés dans l'une des trois catégories suivantes :

- a) Mesure de la puissance absorbée et de la puissance utile d'une seule machine. Elle implique en général la mesure de la puissance mécanique absorbée ou fournie par la machine.
- b) Mesure de la puissance absorbée et de la puissance utile sur deux machines en opposition, par exemple deux machines identiques ou une machine à essayer accouplée à une machine tarée. Ceci a pour but d'éliminer la mesure de la puissance mécanique absorbée ou fournie par la machine.
- c) Mesure des pertes réelles dans une machine dans des conditions déterminées.

Ces pertes ne sont pas en général les pertes totales, mais comprennent certaines pertes particulières. La méthode peut toutefois être appliquée pour calculer les pertes totales ou pour calculer des pertes particulières.

Le choix des essais à effectuer dépend des renseignements recherchés, de la précision recherchée, du type et des dimensions de la machine considérée. Lorsqu'on dispose de plusieurs méthodes pour un type donné de machine, la méthode préférentielle est indiquée (voir article 18).

On fait une distinction entre mesures directes et indirectes du rendement.

La mesure directe du rendement consiste à mesurer directement la puissance fournie par la machine et la puissance qu'elle absorbe.

La mesure indirecte du rendement consiste à mesurer les pertes de la machine. En ajoutant ces pertes à la puissance fournie par la machine, on obtient la puissance qu'elle absorbe.

La mesure indirecte du rendement peut être effectuée par les méthodes suivantes :

- (i) détermination des pertes séparées en vue de leur sommation;
- (ii) détermination des pertes totales.

*Note.* — Les méthodes de détermination du rendement des machines reposent sur un certain nombre d'hypothèses; il n'est donc pas possible d'établir une comparaison entre les pertes obtenues par mesure directe et celles obtenues par mesure des pertes séparées.

Sauf spécification contraire, le rendement garanti d'une machine est celui qui est basé sur la détermination des pertes séparées, mais lorsqu'on a le choix de la méthode, l'évaluation du rendement doit se baser sur la précision qu'offre la méthode, le rendement et le type de la machine considérée\*.

Lorsque le rendement ou les pertes totales sont calculés à partir de la puissance absorbée et de la puissance utile mesurées, toute inexactitude dans ces mesures se traduit directement

---

\**Note.* — Dans certains pays, un rendement de 90% est pris comme base d'application de la méthode indirecte, tandis que d'autres pays préfèrent une valeur plus faible, par exemple 70%.

11.2.5 *Zero power factor test* (see Clause 14)

When the machine is run at rated conditions of speed, voltage and current, the total losses are equivalent to the absorbed power during the test, corrected for the difference between actual and the full-load exciting current losses.

SECTION FIVE — METHODS OF TEST

12. **General**

Tests can be grouped in one of the three following categories:

- a) Input-output measurement on a single machine. This usually involves the measurement of mechanical power into, or out of a machine.
- b) Input and output measurement on two machines connected back-to-back, e.g. two identical machines or a test machine coupled to a calibrated machine. This is done to eliminate the measurement of mechanical power into or out of the machine.
- c) Measurement of the actual loss in a machine under a particular condition.

This is not usually the total loss, but comprises certain component losses. The method may, however, be used to calculate the total loss or to calculate a component loss.

The choice of test to be made depends on the information required, the accuracy required, and the type and size of the machine involved. Where alternative methods are available for a particular type of machine, the preferred method is indicated (see Clause 18).

A distinction is made between direct and indirect efficiency measurement.

The direct measurement of efficiency is made by measuring directly the power supplied by the machine and the power absorbed by it.

The indirect measurement of efficiency is made by measuring the losses of the machine. Those losses are added to the power supplied by the machine, thus giving the absorbed power.

The indirect measurement may be carried out by the following methods:

- (i) determination of separate losses for summation;
- (ii) determination of total losses.

*Note.* — The methods for determining the efficiency of machines are based on a number of assumptions; it is therefore not possible to make a comparison between the losses obtained by the direct method of measurement and those obtained by the measurement of the separate losses.

Unless otherwise specified, the guaranteed efficiency of a machine is that which is based on the determination of separate losses, but when there is a choice of method, the evaluation of efficiency should be based on the accuracy obtainable from the method, the efficiency and the type of machine involved.\*

When the efficiency or total loss is derived from the measured input and output power, any inaccuracy in these measurements appears as a direct error in the efficiency (e.g. with an

---

\**Note.* — In some countries 90% efficiency is accepted as a basis for using the indirect method whereas some other countries prefer a lower value, e.g. 70%.

par une erreur dans le rendement (par exemple, avec une précision de la mesure de la puissance qui n'est pas meilleure que 1%, l'erreur sur le rendement peut être de 2% ou l'erreur sur les pertes totales peut être de 2% de la puissance totale absorbée). Sur les petites machines ou sur les machines de rendement relativement faible (inférieur par exemple à 90%)\*, cette méthode peut être tout à fait admissible et représente une méthode d'essais commode pour ces machines. Sur ces machines et sur les autres machines, le rendement peut être obtenu avec une bonne précision par le calcul des pertes à partir des mesures directes.

### 13. Méthode du moteur taré

La machine dont il s'agit de mesurer les pertes est séparée du réseau, désaccouplée de son moteur d'entraînement, s'il y a lieu, et entraînée à sa vitesse nominale par un moteur taré, c'est-à-dire par un moteur électrique dont les pertes ont été déterminées auparavant avec une grande précision, de manière à permettre de déterminer la puissance mécanique qu'il fournit sur son arbre, connaissant la puissance électrique qu'il absorbe et sa vitesse de rotation. La puissance mécanique transmise par le moteur taré à l'arbre de la machine essayée mesure les pertes de cette dernière pour les conditions de fonctionnement dans lesquelles est fait l'essai. Dans cette méthode, la machine essayée peut être à vide, excitée ou non excitée, avec ou sans balais, ou en court-circuit, ce qui permet de séparer certaines catégories de pertes.

En variante, le moteur taré peut être remplacé par un moteur dynamométrique, ou par un moteur quelconque entraînant la machine à essayer par un torsiomètre approprié permettant de connaître le couple transmis à la machine essayée et, par suite, la puissance mécanique absorbée par cette dernière.

Lorsqu'il est fait usage de cette variante, la vitesse de rotation qui intervient directement dans le calcul de la puissance doit être mesurée avec la plus grande précision.

### 14. Essai au facteur de puissance nul

La machine fonctionne en moteur à vide, à la vitesse nominale et à un facteur de puissance voisin du zéro, le courant d'excitation étant réglé de façon que la machine soit parcourue par son courant primaire nominal.

La tension d'alimentation est telle que les pertes magnétiques ont la même valeur qu'en fonctionnement à vide à la tension nominale. La tension d'alimentation est en général prise égale à la tension nominale à moins que ceci ne donne des pertes dans le fer nettement plus élevées qu'à pleine charge. En principe, la puissance réactive doit être positive, c'est-à-dire que la machine est surexcitée, mais si ceci n'est pas possible du fait que la tension de l'excitatrice est insuffisante, l'essai peut être effectué avec absorption de puissance réactive (c'est-à-dire avec la machine sous-excitée).

*Note.* — La précision de cette méthode dépend de la précision à un faible facteur de puissance des wattmètres utilisés.

### 15. Méthode de ralentissement

Cette méthode est applicable en particulier aux grosses machines synchrones de grande inertie. Elle peut également être appliquée aux machines à courant alternatif à induction et aux machines à courant continu, pour les pertes appropriées de ces machines. Elle consiste

\**Note* — Dans certains pays, un rendement de 90% est pris comme base d'application de la méthode indirecte, tandis que d'autres pays préfèrent une valeur plus faible, par exemple 70%.

accuracy of power measurement not better than 1%, the efficiency can be 2% in error or the total losses can be in error by 2% of the total input power). On small machines or machines with relatively low efficiencies (say below 90%),\* this method may be quite acceptable and gives a convenient form of test for such machines. On these and other machines efficiency can be obtained with high accuracy by the calculation of losses from direct measurements.

13. **Calibrated machine test**

The machine of which the losses are to be measured is separated from the network, uncoupled from its driving motor if necessary, and driven at its rated speed by a calibrated motor, that is by an electric motor of which the losses have been previously determined with great accuracy, such that it is possible to determine the mechanical power which it furnishes at its shaft, knowing the electric power which it absorbs and its speed of rotation. The mechanical power transmitted by the calibrated motor to the shaft of the machine under test is a measure of the losses of this latter machine for the working conditions under which the test is made. In this method, the machine tested may be on no-load, excited or not excited, with or without brushes or short-circuited, which enables categories of losses to be separated.

As an alternative, the calibrated motor may be replaced by a dynamometer or by any other motor driving the machine under test through an appropriate torsionmeter, which enables the torque transmitted to the machine under test to be known, and hence the mechanical power absorbed by this latter machine.

When use is made of this alternative, the speed of rotation, which comes directly into the calculation of the power, must be measured with extreme care.

14. **Zero power factor test**

The machine operates as a motor at no-load and at rated speed, with a power factor in the neighbourhood of zero, while the excitation current is adjusted so that the machine carries its rated primary current.

The supply voltage is such that the magnetic losses have the same value as in no-load operation at rated voltage. The supply voltage is usually equal to the rated voltage unless this would give an active iron loss appreciably greater than that at full load. In principle, the reactive power should be positive, i. e. over-excited, but when this is impossible because the exciter voltage is not sufficient, the test can be made with absorption of the reactive power (i. e. under-excited).

*Note.* — The accuracy of this method is dependent upon the accuracy at low power factor of the wattmeters used.

15. **Retardation method**

This method is particularly applicable to large synchronous machines with considerable inertia. The method may also be used for a.c. induction machines and d.c. machines, using the appropriate losses for such machines. It consists of measuring the retardation time when the

---

\**Note.* — In some countries 90% efficiency is accepted as a basis for using the indirect method whereas some other countries prefer a lower value, e.g. 70%.

à mesurer le temps employé par la machine pour ralentir, dans différentes conditions, entre deux vitesses prédéterminées, par exemple de 110% à 90% ou de 105% à 95% de la vitesse nominale. Ce temps varie en raison inverse de la valeur moyenne des pertes pendant le même temps.

Cette méthode permet de mesurer les pertes mécaniques (pertes par frottement et pertes totales par ventilation), les pertes dans le fer à différentes excitations et les pertes dues à la charge en court-circuit à différentes excitations.

Pendant l'essai, la machine fonctionne en moteur à vide alimenté par une génératrice pendant une durée suffisante pour que la température des paliers se stabilise. Si les pertes dans les paliers sont garanties pour une certaine température des paliers, l'arrivée d'eau dans le système de refroidissement du palier doit être réglée de façon à permettre d'obtenir la température spécifiée.

La machine en essai est portée à une vitesse suffisamment supérieure à celle à partir de laquelle le temps de ralentissement est mesuré. La machine en essai est ensuite séparée de la machine qui l'alimente et on réalise la valeur de l'excitation et les connexions de l'enroulement primaire nécessaires. Ces manœuvres doivent être faites suffisamment vite pour que le régime établi nécessaire pour l'essai soit réalisé avant que la vitesse de la machine, qui décroît constamment dans cet intervalle de temps, passe par la limite supérieure à partir de laquelle le temps de ralentissement est mesuré.

Dans les essais de ralentissement à vide, l'excitation et la tension statorique sont mesurées à l'instant où la machine passe par sa vitesse nominale. Dans les essais de ralentissement en court-circuit, le courant d'excitation et le courant statorique sont mesurés au même instant. L'essai doit être effectué à plusieurs valeurs d'excitation, les connexions étant ouvertes et en court-circuit.

Le temps entre les deux limites doit être mesuré avec une précision de 2%. L'intervalle entre les deux limites choisies dépend de la précision de la mesure. Une génératrice à aimant permanent ou une excitatrice peuvent être utilisées comme tachymètre; la mesure peut également être réalisée au moyen de dispositifs électroniques.

Pour obtenir la valeur absolue des pertes qui existaient dans les machines pendant l'essai correspondant de ralentissement à vide à l'instant de son passage par la vitesse nominale, on effectue des mesures, la machine fonctionnant en moteur à vide, à la vitesse normale, à un facteur de puissance égal à un et à la même tension que dans l'une des mesures de ralentissement, de préférence à la tension nominale. La puissance absorbée, qui est égale aux pertes, doit être mesurée avec une grande précision.

Lorsque l'on ne connaît pas avec une précision suffisante l'inertie de la machine, on peut la déterminer par un essai de ralentissement dans lequel on connaît les pertes, mesurées par une autre méthode.

On répète la mesure plusieurs fois et on calcule la valeur moyenne. Au lieu d'effectuer plusieurs mesures à la même tension, on peut déterminer plusieurs points à différentes tensions entre 95% et 105% de la tension nominale de façon à obtenir la courbe des pertes *en fonction* de la tension de part et d'autre de sa valeur nominale. Les mesures de ralentissement doivent avoir été effectuées dans le même domaine de tension. On établit alors la relation entre les pertes  $P$  et le temps de ralentissement.

Les pertes dans des conditions quelconques (par exemple à vide, en court-circuit, etc.) peuvent être prises égales au produit de la puissance absorbée  $P$ , mesurée lors de l'essai ci-dessus, par le rapport du temps de ralentissement de l'essai ci-dessus au temps de ralentissement de l'essai considéré.

machine is slowing down under different conditions between two predetermined speeds, say from 110% to 90% or from 105% to 95% of the rated speed. This time will vary inversely with the average losses during the same time.

The method permits the measurement of the mechanical loss (friction losses and total windage loss), core loss at different excitation and load loss on short-circuit under different excitation.

During the test, the machine is run as a motor at no-load fed from a generator for a sufficient time for the temperature of the bearings to be stabilized. If the bearing losses are guaranteed at a certain temperature of the bearing, the amount of cooling water to the bearing cooling system should be adjusted so that the agreed temperature will be obtained.

The machine on test is accelerated to a speed sufficiently above the speed from which the retardation time is measured. The test machine is then disconnected from its feeding machine and the required value of excitation, and primary winding connections, are established. This should be done with sufficient rapidity for the required steady electrical test conditions to have been reached before the speed of the machine, which is decreasing constantly during this interval, passes through the upper limit from which the retardation time is measured.

In the open-circuit retardation tests, the excitation and the stator voltage are measured as the machine passes through the rated speed. In the short-circuit retardation tests, the excitation current and the stator current are measured at this same instant. The test should be carried out for several values of excitation, with open-circuited and short-circuited connections respectively.

The time between the two limits of speed should be measured within an accuracy of 2%. The interval between the two limits chosen depends on the accuracy of measurement. A permanent magnet generator or an exciter may be used as a tachometer, or measurement may be made with electronic devices.

To obtain the absolute value of the losses, which are present in the machine during the corresponding open-circuit retardation test at the moment of passing through the rated speed, measurements are made with the machine running as a motor at no-load, normal speed and unity power factor, and at the same voltage as used in one of the retardation tests, preferably at normal voltage. The input, i. e. the losses, should be measured with great accuracy.

When the inertia of the machine is not known with sufficient precision, it may be determined by a retardation test with known losses, measured by another method.

The measurement is repeated several times and the average value calculated. Instead of measuring several times at the same voltage, several points can be measured at different voltages in the range of 95% to 105% to obtain a curve of losses *versus* voltage around the rated voltage. Retardation measurements should have been made in the same voltage range. The relation between losses  $P$  and retardation time is now established.

The losses at any condition (e. g., at no-load, at short-circuit, etc.) can be calculated as the input value  $P$  measured in the above test multiplied by the ratio between the retardation time in the above test and the retardation time in the actual test.

Les pertes mécaniques sont obtenues par un essai de ralentissement sans excitation; les pertes dans le fer sont obtenues à partir des essais à vide par soustraction des pertes mécaniques et les pertes en court-circuit à partir d'un essai de ralentissement en court-circuit par soustraction des pertes mécaniques.

Le moment d'inertie peut se calculer à partir de l'essai de ralentissement par la formule suivante:

$$J \simeq \frac{45600 Pt}{\delta n^2}$$

où:

$$45600 = \frac{60^2 \times 10^3}{8\pi^2}$$

Le ralentissement se mesure de la vitesse  $n(1 + \delta)$  à la vitesse  $n(1 - \delta)$ ,  $n$  étant la vitesse nominale en tours par minute. Si  $P$  est exprimé en kilowatts, l'inertie  $J$  s'obtient en  $\text{kgm}^2$ ,  $t$  étant la durée en secondes entre les deux instants où la vitesse est  $n(1 + \delta)$  et  $n(1 - \delta)$  respectivement.

Pendant l'essai de ralentissement, l'excitation de la machine essayée doit de préférence provenir d'une source séparée. On peut toutefois utiliser une excitatrice à accouplement direct si la variation de la vitesse lors du ralentissement est faible, par exemple de 105% à 95%. On doit alors faire une correction appropriée pour les pertes dans le circuit d'excitation en tenant compte également du fait que le courant d'excitation peut différer légèrement entre l'essai de ralentissement et l'essai à vide, bien que la tension reste la même. Il est toutefois nécessaire que l'excitatrice soit en excitation séparée.

Au lieu d'appliquer la méthode à vide pour obtenir la valeur absolue des pertes, on peut appliquer la méthode du moteur auxiliaire taré.

## 16. Essai en opposition

Cette méthode est applicable lorsqu'on dispose de deux machines identiques. Ces machines sont accouplées mécaniquement et couplées électriquement de façon à fonctionner à la vitesse nominale, l'une en moteur et l'autre en génératrice. La température réelle à laquelle sont effectuées les mesures doit être aussi voisine que possible de la température de régime et il n'est pas effectué de correction. Les pertes des machines accouplées sont couvertes soit par un réseau auquel elles sont connectées, soit par un moteur taré d'entraînement, soit par un survolteur, soit encore par une combinaison de ces divers moyens.

La valeur moyenne des courants d'induit est réglée à la valeur nominale; la moyenne de la tension des deux induits est supérieure ou inférieure à la tension nominale d'une valeur égale à la chute de tension, selon que les machines sont fournies pour être employées respectivement comme génératrice ou comme moteur.

Lorsque deux machines à induction sont couplées électriquement, elles doivent être accouplées mécaniquement à l'aide d'un dispositif de réglage de la vitesse, tel qu'une boîte d'engrenages, de façon à assurer la transmission correcte de la puissance. La valeur de la puissance transmise dépend de la différence de vitesse. Le réseau électrique couvrant les pertes des deux machines devra fournir de la puissance réactive magnétisante aux deux machines.

Lorsque deux machines synchrones sont couplées électriquement, elles doivent être accouplées mécaniquement avec un décalage correct entre les angles de phase. La valeur de la puissance transmise dépend du déphasage entre les deux machines.

The mechanical loss is obtained from a retardation test without excitation, the core loss from the open-circuit tests with the mechanical loss subtracted, and the short-circuit loss from a retardation test on short-circuit with the mechanical loss subtracted.

The moment of inertia can be calculated from the retardation test with the equation:

$$J \simeq \frac{45600 Pt}{\delta n^2}$$

where:

$$45600 = \frac{60^2 \times 10^3}{8\pi^2}$$

The retardation is measured from the speed  $n(1 + \delta)$  to the speed  $n(1 - \delta)$  where  $n$  is the rated speed in revolutions per minute. If  $P$  is expressed in kilowatts, inertia  $J$  is obtained in  $\text{kgm}^2$ ,  $t$  being the time in seconds between the two instants where the speed is  $n(1 + \delta)$  and  $n(1 - \delta)$  respectively.

During the retardation test, the excitation on the tested machine should preferably be from a separate source. A directly coupled exciter can, however, be used, if the change in speed during retardation is small, e.g. 105% to 95%. An appropriate correction for the loss in the excitation circuit must then be made taking into account also that the excitation current in the retardation test, and the no-load tests, may be a little different, although the voltage is the same. Separate excitation of the exciter is, however, necessary.

Instead of using the no-load method for obtaining the absolute value of the losses, the calibrated motor method can be used.

## 16. Electrical back-to-back test

This method is applicable when two identical machines are available. The machines are coupled mechanically and electrically so as to operate at rated speed, one as a motor and the other as a generator. The actual temperature at which the measurements are carried out should be as close as possible to the working temperature and no further correction should be made. The losses of the assembled machines are supplied either by a network to which they are connected, or by a calibrated driving motor, or by a booster, or else by a combination of these various means.

The average value of the armature currents is adjusted to the rated value, the average of the voltage of the two armatures is above or below the rated voltage by an amount equal to the voltage drop, depending on whether the d. c. machines are intended to be used respectively as generators or as motors.

Where two induction machines are electrically connected, they should be mechanically coupled with a speed adjusting device, such as a gear box, to ensure the correct circulation of power. The magnitude of power circulated depends upon the difference in speed. The electrical system supplying the losses to the two machines will be required to provide magnetizing kvar to both machines.

When two synchronous machines are electrically connected, they should be mechanically coupled with a correct angular phase relationship. The magnitude of the power circulated depends upon the difference in phase angle between them.

17. **Essai calorimétrique**

A l'étude.

18. **Indication des essais préférentiels**

18.1 *Machines à courant continu*

L'essai préférentiel des machines à courant continu est celui du paragraphe 7.1 et la méthode préférentielle de calcul du rendement est celle du paragraphe 7.1.2.

18.2 *Machines à induction polyphasées*

L'essai préférentiel des machines à induction polyphasées est celui du paragraphe 9.1 et la méthode préférentielle de détermination des pertes constantes est celle du paragraphe 9.1.1.1.

18.3 *Machines synchrones*

L'essai préférentiel des machines synchrones est celui du paragraphe 11.1 et la méthode préférentielle de détermination des pertes constantes est celle du paragraphe 11.1.2.1.

---

17. **Calorimetric test**

Under consideration.

18. **Schedule of preferred tests**

18.1 *D.C. machines*

The preferred test for d.c. machines is in accordance with Sub-clause 7.1 and the preferred method of calculating the efficiency is in accordance with Sub-clause 7.1.2.

18.2 *Polyphase induction machines*

The preferred test for polyphase induction machines is in accordance with Sub-clause 9.1 and the preferred method of determining the constant losses is in accordance with Sub-clause 9.1.1.1.

18.3 *Synchronous machines*

The preferred test for synchronous machines is in accordance with Sub-clause 11.1 and the preferred method of determining the constant losses is in accordance with Sub-clause 11.1.2.1.

---

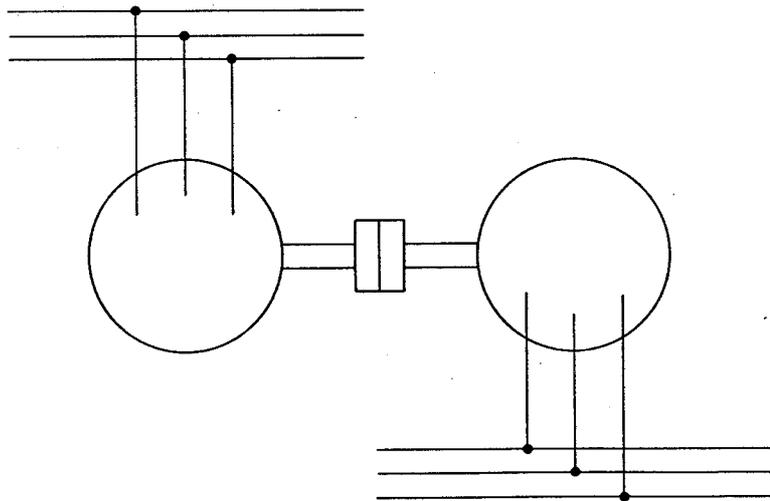


FIG. 1. — Essais en opposition.

Mechanical back-to-back test.

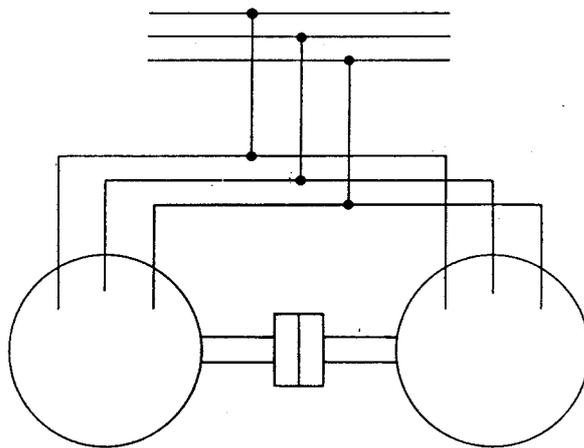


FIG. 2. — Essais en opposition avec marche en parallèle sur un réseau.

Electrical back-to-back test.

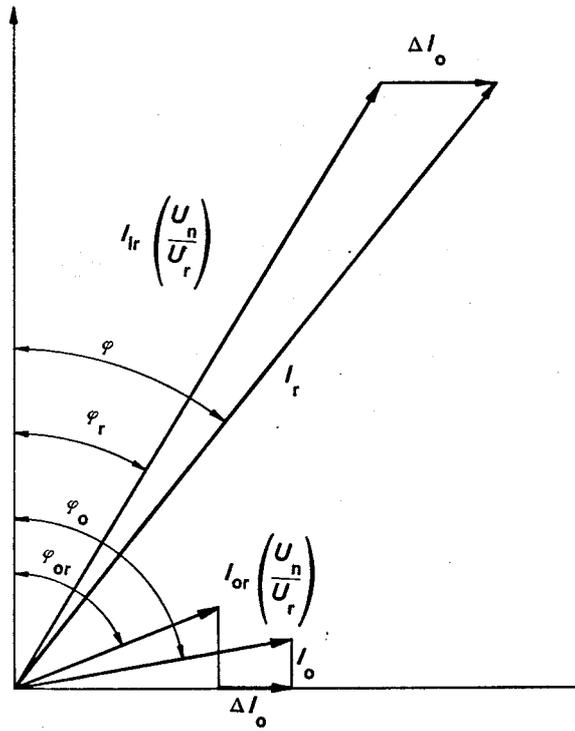


FIG. 3. — Diagramme vectoriel pour obtenir le vecteur du courant en charge  $I_1$  à la tension nominale.

Vector diagram for obtaining vector of load current  $I_1$  at rated voltage.





---

**ICS 29.160.01**

---

Typeset and printed by the IEC Central Office  
GENEVA, SWITZERLAND