

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Rotating electrical machines –
Part 2-2: Specific methods for determining separate losses of large machines
from tests – Supplement to IEC 60034-2-1**

**Machines électriques tournantes –
Partie 2-2: Méthodes spécifiques pour déterminer les pertes séparées des
machines de grande taille à partir d'essais – Complément à l'IEC 60034-2-1**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60034-2-2:2024



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2024 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Secretariat
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigendum or an amendment might have been published.

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee, ...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and once a month by email.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: sales@iec.ch.

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews, graphical symbols and the glossary. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 500 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 25 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études, ...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et une fois par mois par email.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: sales@iec.ch.

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications, symboles graphiques et le glossaire. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 500 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 25 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Rotating electrical machines –
Part 2-2: Specific methods for determining separate losses of large machines
from tests – Supplement to IEC 60034-2-1**

**Machines électriques tournantes –
Partie 2-2: Méthodes spécifiques pour déterminer les pertes séparées des
machines de grande taille à partir d'essais – Complément à l'IEC 60034-2-1**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.160.01

ISBN 978-2-8322-8171-0

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

FOREWORD	4
1 Scope	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	6
4 Symbols and abbreviated terms	7
4.1 Symbols	7
4.2 Additional subscripts	8
5 Basic requirements	8
5.1 Direct and indirect efficiency determination	8
5.1.1 General	8
5.1.2 Direct	8
5.1.3 Indirect	8
5.2 Uncertainty	9
6 Additional test methods for the determination of the efficiency of large machines	9
6.1 General	9
6.1.1 Overview	9
6.1.2 Efficiency	10
6.1.3 Total loss	10
6.2 Method 2-2-A – Calibrated machine	11
6.2.1 General	11
6.2.2 Test procedure	12
6.2.3 Direct efficiency determination	12
6.2.4 Determination of separate losses	13
6.3 Method 2-2-B – Retardation method	13
6.3.1 General	13
6.3.2 Test procedure	15
6.3.3 Determination of deceleration and retardation constant	17
6.3.4 Determination of separate losses	19
6.4 Method 2-2-C – Calorimetric method	20
6.4.1 General	20
6.4.2 Calorimetric instrumentation	22
6.4.3 Test procedure	25
6.4.4 Determination of losses	26
Annex A (informative) Summation of losses for permanent-magnet synchronous machines	30
A.1 General	30
A.2 No-load test with magnetized rotor	30
A.3 No-load test with unmagnetized rotor	30
A.4 Iron losses	31
A.5 Test with rotor removed	31
A.6 Rated stator winding losses and additional load losses	32
A.7 Total losses	33
Bibliography	34
Figure 1 – Efficiency determination according to method 2-2-A	11
Figure 2 – Efficiency determination according to method 2-2-B	14

Figure 3 – Method of the chord	17
Figure 4 – Efficiency determination according to method 2-2-C	21
Figure 5 – Reference surface.....	22
Figure 6 – Four coolers connected in parallel, single calorimeter, single coolant.....	23
Figure 7 – Series connected coolers, two coolants.....	24
Figure 8 – Bypass piping	24
Figure 9 – Parallel piping	25
Figure 10 – Characteristics of pure water as a function of temperature	27
Table 1 – Additional methods for large machines	9

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60034-2-2:2024

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ROTATING ELECTRICAL MACHINES –

**Part 2-2: Specific methods for determining
separate losses of large machines from tests –
Supplement to IEC 60034-2-1**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as “IEC Publication(s)”). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) IEC draws attention to the possibility that the implementation of this document may involve the use of (a) patent(s). IEC takes no position concerning the evidence, validity or applicability of any claimed patent rights in respect thereof. As of the date of publication of this document, IEC had not received notice of (a) patent(s), which may be required to implement this document. However, implementers are cautioned that this may not represent the latest information, which may be obtained from the patent database available at <https://patents.iec.ch>. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

IEC 60034-2-2 has been prepared by IEC technical committee 2: Rotating machinery. It is an International Standard.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2010. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- a) Layout and procedures aligned with IEC 60034-2-1 and IEC 60034-2-3.
- b) Annex A added: an informative procedure for the summation of losses for large permanent-magnet excited synchronous machines.

The text of this International Standard is based on the following documents:

Draft	Report on voting
2/2157/FDIS	2/2178/RVD

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

The language used for the development of this International Standard is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/publications.

A list of all parts in the IEC 60034 series, published under the general title *Rotating electrical machines*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under webstore.iec.ch in the data related to the specific document. At this date, the document will be

- reconfirmed,
- withdrawn, or
- revised.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60034-2-2:2024

ROTATING ELECTRICAL MACHINES –

Part 2-2: Specific methods for determining separate losses of large machines from tests – Supplement to IEC 60034-2-1

1 Scope

This part of IEC 60034 applies to large rotating electrical machines and establishes additional methods of determining separate losses and to define an efficiency supplementing IEC 60034-2-1. These methods apply when full-load testing is not practical and results in a greater uncertainty.

NOTE In situ testing according to the calorimetric method for full-load conditions is recognized.

The specific methods described are:

- Calibrated-machine method.
- Retardation method.
- Calorimetric method.
- Summation of losses for permanent magnet excited synchronous machines.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

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

IEC 60034-2-1, *Rotating electrical machines – Part 2-1: Standard methods for determining losses and efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles)*

3 Terms and definitions

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

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

3.1

calibrated machine

machine whose mechanical power input/output is determined, with low uncertainty, using measured electrical output/input values according to a defined test procedure

3.2**calibrated-machine method**

method in which the mechanical input/output to/from an electrical machine under test is determined from the measurement of the electrical input/output of a calibrated machine mechanically coupled to the test machine

3.3**retardation method**

method in which the separate losses in a machine under test are deduced from the measurements of the deceleration rate of its rotating components when only these losses are present

3.4**calorimetric method**

method in which the losses in a machine are deduced from the measurements of the heat generated by them

3.5**thermal equilibrium**

state reached when the temperature rises of the several parts of the machine do not vary by more than rate of change 1 K per half hour

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-51-08]

4 Symbols and abbreviated terms**4.1 Symbols**

A	is an area, m^2 ,
C	is the retardation constant, $\text{kg m}^2 \text{s}^2$,
c_p	is the specific heat capacity of the cooling medium, $\text{J}/(\text{kg K})$,
h	is the coefficient of heat transfer, $\text{W}/(\text{m}^2 \text{K})$,
J	is the moment of inertia, kg m^2 ,
n	is the operating speed, s^{-1} ,
P_1	is the input power, W ,
P_{1E}	is the excitation power supplied by a separate source, W ,
P_2	is the output power, W ,
P_a	is the I^2R armature-winding losses (interpole, compensation and series field winding loss in case of DC machines), W ,
P_b	is the brush losses, W ,
P_c	is the constant losses, W ,
P_e	is the excitation circuit losses, W ,
P_{Ed}	is the exciter losses, W ,
P_{el}	is the electrical power, excluding excitation, W ,
P_f	is the excitation (field winding) losses, W ,
P_{fe}	is the iron losses, W ,
P_{fw}	is the friction and windage losses, W ,
P_{sc}	is the short-circuit losses, W ,

P_{LL}	is the additional load losses, W,
P_{mech}	is the mechanical power, W,
P_r	is the I^2R rotor winding losses, W,
P_s	is the stator I^2R winding losses, W,
P_T	is the total losses, W,
Q	is the volume rate of flow of the cooling medium, m ³ /s,
t	is the time, s,
v	is the exit velocity of cooling medium, m/s,
Δp	is the difference between the static pressure in the intake nozzle and ambient pressure, N/m ² ,
$\Delta\theta$	is the temperature rise of the cooling medium, or the temperature difference between the machine reference surface and the external ambient temperature, K,
δ	is the per unit deviation of rotational speed from rated speed,
ρ	is the density of the cooling medium, kg/m ³ ,
θ	is the temperature, °C.

4.2 Additional subscripts

c	for the cooling circuit,
E	for exciter,
ers	for outside reference surface,
i	for inner voltage,
irs	for inside reference surface,
rs	for the reference surface,
RR	for test with rotor removed,
t	test,
0	no-load,
1	input,
2	output.

5 Basic requirements

5.1 Direct and indirect efficiency determination

5.1.1 General

Tests can be grouped in the following categories.

5.1.2 Direct

Input-output measurements on a single machine are considered to be direct. This involves the measurement of electrical or mechanical power into, and mechanical or electrical power out of a machine.

5.1.3 Indirect

Measurements of the separate losses in a machine under a particular condition are considered to be indirect. This is not usually the total loss but comprises certain loss components. The method may, however, be used to calculate the total loss or to calculate a loss component.

The determination of total loss shall be carried out by one of the following methods:

- direct measurement of total losses;
- summation of separate losses.

NOTE The methods for determining the efficiency of machines are based on a number of assumptions. Therefore, it is not possible to make a comparison between the values of efficiency obtained by different methods.

5.2 Uncertainty

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

Although uncertainty should be expressed as a numerical value, such a requirement needs sufficient testing to determine representative and comparative values.

6 Additional test methods for the determination of the efficiency of large machines

6.1 General

6.1.1 Overview

For the determination of performance when machine load and/or size exceed test capabilities (described in IEC 60034-2-1), the following test methods may be used. See Table 1.

Table 1 – Additional methods for large machines

Reference	Method	Description	Subclause	Application	Required facility
2-2-A	Calibrated machine	Loss measurement via calibrated machine	6.2	All types of machines	Calibrated machine
2-2-B	Retardation method	Loss measurement by retardation	6.3	Applicable for factory and on-site measurements	
2-2-C	Calorimetric method	Loss measurement in the primary and secondary coolant	6.4	Applicable for factory and on-site measurements	

NOTE These methods are generally applicable to large machines where the facility cost for other methods is not economical.

Losses relative to machine load (with lowest uncertainty) are best determined from actual measurements. For example: measurements of current, resistance, etc., under full-load operation.

When this is not possible, these values shall be obtained from calculation of the parameters during the design stage.

Determination of losses not itemized in this part may be found in IEC 60034-2-1.

6.1.2 Efficiency

Efficiency is:

$$\eta = \frac{P_1 + P_{1E} - P_T}{P_1 + P_{1E}} = \frac{P_2}{P_2 + P_T}$$

where

P_1 is the input power excluding excitation power from a separate source;

P_2 is the output power;

P_{1E} is the excitation power supplied by a separate source;

P_T is the total loss.

NOTE 1 Input power P_1 and output power P_2 are as follows:

in motor operation: $P_1 = P_{el}$; $P_2 = P_{mech}$;

in generator operation: $P_1 = P_{mech}$; $P_2 = P_{el}$.

NOTE 2 P_T includes the excitation circuit losses P_e of the machine where applicable.

6.1.3 Total loss

When the total loss is determined as the sum of the separate losses the following formulae apply:

For direct current machines:

$$P_T = P_c + P_a + P_b + P_{LL} + P_e$$

$$P_e = P_f + P_{Ed}$$

$$P_c = P_{fw} + P_{fe}$$

For induction machines:

$$P_T = P_c + P_s + P_r + P_{LL}$$

$$P_c = P_{fw} + P_{fe}$$

For synchronous machines:

$$P_T = P_c + P_s + P_{LL} + P_e$$

$$P_e = P_f + P_{Ed} + P_b$$

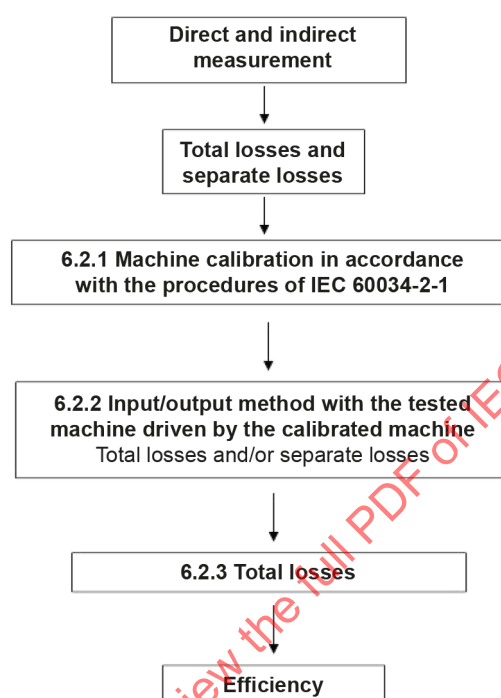
$$P_c = P_{fw} + P_{fe}$$

6.2 Method 2-2-A – Calibrated machine

6.2.1 General

The calibrated machine method may be used to determine the test machine efficiency either directly or by separate losses.

For an overview, Figure 1 provides a flowchart for efficiency determination by this test method.



IEC

Figure 1 – Efficiency determination according to method 2-2-A

This method is generally applied as a factory test.

The tested machine shall be equipped with winding ETDs.

The tested machine shall be completely assembled with essential components as for normal operation.

This method requires a calibrated machine mechanically coupled to the machine under test and is used when a torque meter is not available. The mechanical input of the tested machine is calculated from the electrical input of the calibrated machine.

When a gear-box is directly connected to the machine it shall be considered as part of the calibrated machine.

Calibrate an electric machine, preferably a direct-current machine, according to one of the procedures in IEC 60034-2-1 at a sufficient number of thermally stable loads (including no-load) to determine an accurate relationship of output power as a function of input power adjusted for the temperature of the cooling air/medium at inlet. This is generally developed in the form of a curve.

It is generally advisable to take several readings of all instruments at each load-point during short periods of time and average the results to obtain a more accurate test value.

6.2.2 Test procedure

Before starting the test, record the winding resistances and the ambient temperature.

The machine for which the performance is to be determined shall be mechanically coupled to the calibrated machine and be operated at a speed equivalent to its synchronous/rated speed.

Operate the calibrated machine with the test machine at either rated-load, partial-load; no-load not excited, with or without brushes; no-load excited at rated voltage; or short-circuited, which enables specific categories of losses to be determined.

When the test machine is operated at each specified test condition and has reached thermal stability, record:

- for the calibrated machine
 - P_1 = input power
 - U_1 = input voltage
 - I_1 = current
 - θ_{1c} = temperature of inlet cooling air
 - θ_{1w} = winding temperature (by variation of resistance if possible)
 - n_1 = speed
- for the test machine (direct determination as a generator)
 - P_2 = output power
 - U_2 = output voltage or armature voltage (when excited open-circuit)
 - I_2 = armature load current
 - θ_{2w} = windings temperature (either directly by ETDs or by resistance variation)
 - n_2 = speed.

Upon completion of each test, stop the machines and record in the given order:

- test machine winding resistance;
- calibrated machine winding resistance.

NOTE The example represents testing with a motor as the calibrated machine.

Finally operate the calibrated machine without electrical connection to the test machine and record as specified above.

From the curve developed in 6.2.1 and using the calibrated machine input values, select the appropriate output power to the test machine.

Adjust the output power for the standardized coolant temperature.

Determination of excitation power shall be in accordance with IEC 60034-2-1.

6.2.3 Direct efficiency determination

When the test machine is operated with rated conditions, the test machine efficiency is:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \text{ test machine working as a generator, calibrated machine working as a motor}$$

where

P_2 is the output power of test generator;

P_1 is the calculated input power to the test generator;

and:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \text{ test machine working as a motor, calibrated machine working as a generator}$$

where

P_1 is the input power to test motor;

P_2 is the calculated output power from the test motor.

6.2.4 Determination of separate losses

Using values of P determined from the calibrated machine curve, it is possible to determine the power dissipated by the test machine for other selected conditions that may be used to determine efficiency according to 6.1.2.

- Friction and windage losses at rated speed (when the test machine is not electrically connected);
- Active iron losses, and additional open-circuit losses in DC and synchronous machines, (when tested at no-load, open-circuit, excited at rated voltage, minus the windage and friction loss). Field losses from a separate source;
- Stator winding losses and additional load losses in synchronous machines, (when tested under short-circuit conditions, excited at rated armature current, minus the windage and friction loss). Field losses from a separate source.

6.3 Method 2-2-B – Retardation method

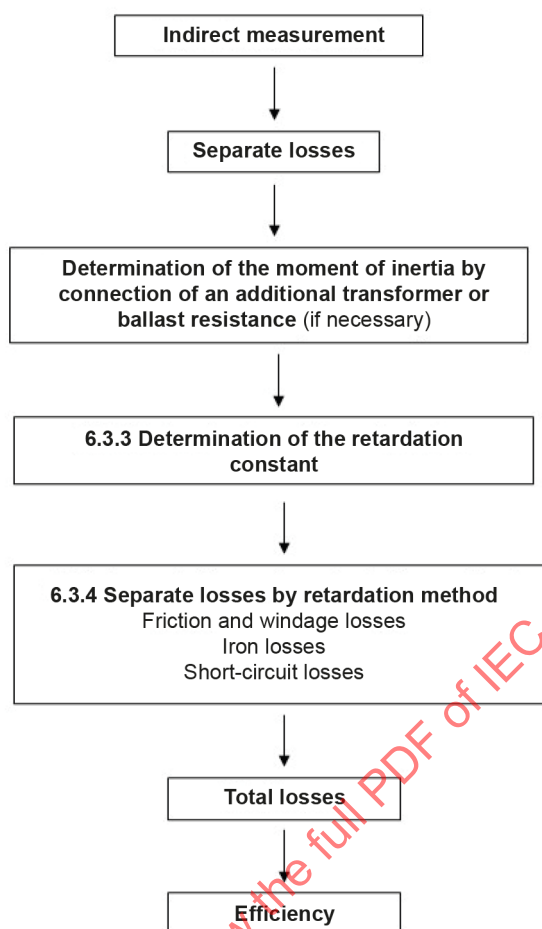
6.3.1 General

The retardation method can be used in determining the separate losses of rotating electrical machines having an appreciable rotational inertia.

The retardation method is used to determine:

- sum of the friction and windage losses ("mechanical losses") in machines of all types;
- sum of losses in active iron and additional open-circuit losses in DC and synchronous machines;
- sum of I^2R losses in an operating winding and additional load losses ("short-circuit losses") in synchronous machines.

For an overview, Figure 2 provides a flowchart for efficiency determination by this test method.



IEC

Figure 2 – Efficiency determination according to method 2-2-B

The recorded test loss P_t which retards the machine is proportional to the product of the speed to which this loss corresponds and the deceleration at that speed:

$$P_t = -C \times n \times \frac{dn}{dt}$$

where:

P_t is the loss being measured;

C is the retardation constant;

n is the speed;

dn/dt is the deceleration.

NOTE 1 The accuracy of the retardation method is directly related to the accuracy of the retardation constant C which depends solely on the moment of inertia J .

The test machine shall be assembled, with all essential components, as for normal operation, but uncoupled from other rotating parts. A suitable speed sensor shall be attached to the rotating element.

When the machine cannot be uncoupled, all possible steps should be taken to reduce the mechanical losses in other rotating parts, e.g. by partial dismantling or in the case of a water

turbine, by preventing water in the runner chamber. Rotation of the runner in air produces a windage loss which should be determined either experimentally or from calculations.

NOTE 2 The test machine may be driven by its normal prime mover, e.g. by Pelton turbine when the water supply to the runner can be cut off instantly.

Excitation from a mechanically-coupled exciter is not recommended, but may be permitted when the value of the deviation of speed δ does not exceed 0,05. Losses in exciters coupled to the shaft of the test machine shall be taken into account.

The bearing temperatures shall be adjusted to the rated design temperature of the bearings, by adjusting the coolant flow.

The primary coolant temperature shall be adjusted, whenever possible, to the rated primary coolant temperature at which the windage loss measurement is required by throttling the secondary coolant flow.

If agreed between customer and supplier, losses in common bearings should be stated separately, whether such bearings are supplied with the machine or not.

The losses in bearings and thrust bearings shall be subtracted from the total sum of the mechanical losses. If the tested machine uses direct-flow cooling (external coolant directly supplied to the bearing by piping) of the bearings, these losses are distributed between the tested machine and any other coupled to it mechanically, such as turbine, in proportion to the masses of their rotating parts. If there is no direct-flow cooling, the distribution of bearing losses shall be determined from empirical formulae. Retardation tests shall be conducted as a series without interruption, whenever possible. It is recommended that the series start and finish with retardation tests of the test machine unexcited.

All tests shall be repeated several times at the preset rated values of open-circuit voltage or short-circuit current. The arithmetic mean value obtained from each series of measurements shall be assumed to be the appropriate loss value of that category of loss.

Select a value of δ (the per unit deviation of rotational speed from rated speed) which shall not be greater than 0,1 and may have to be less than this, depending on the characteristics of the machine.

6.3.2 Test procedure

Electrically connect the test machine as a motor (on no-load) fed from a separate power source having a wide range of variable frequency. Any excitation shall be obtained from a separate source with a rapid and precise voltage control.

Rapidly accelerate the test machine to a speed above $n_N (1 + \delta)$. Disconnect the machine from its supply source. Sufficient time delay shall separate the switching off of the supply and starting the measurements to allow electromagnetic transients to decay.

During deceleration to $n_N (1 - \delta)$ place the test machine in the required condition, according to the following tests:

Usual test sequence to determine separate losses when the inertia is either known or if unknown, to be followed after determination according to one of the tests 4 to 7:

Test 1: running unexcited;

Test 2: running open-circuited, excited at rated voltage;

Test 3: running with the armature terminals short-circuited, and the excitation set to give the rated armature current.

As an alternate, tests may be carried out at various values within limits of the order of 95 % to 105 % of either the rated voltage or rated short-circuit current.

Additional tests, when the moment of inertia is unknown, shall be conducted at the same values as determined in test 2 and test 3 according to either test 4, test 5, test 6 or test 7.

Test 4: running as an unloaded motor;

Test 5: running unexcited, connect the test machine to a transformer previously set under no-load condition and excite to the preset values of open-circuit voltage;

Test 6: running unexcited, connect the test machine to a transformer previously set under short-circuit and excite to the preset values of current;

Test 7: running unexcited, simultaneously load the exciter or the auxiliary generator with a ballast resistance at a predetermined load.

Each retardation test shall be repeated at least twice.

Measurements of voltage and current shall be taken at the instant when the test machine passes through rated speed, except in the case of an unexcited retardation test.

Excitation circuit power shall be measured, if excitation is not provided by a separate source.

The measured values of open-circuit voltage or short-circuit current shall not differ from the preset values by more than $\pm 2\%$. The calculated final value of the speed derivative in time for each of the tests shall be adjusted proportionally by the ratio of the square of the preset value to the measured value.

Highly accurate recording instruments shall be used either with continuous or with discrete recording of test values of speed and time.

For each test category, take sufficient measurements to accurately locate the points $n_N (1 + \delta)$ and $n_N (1 - \delta)$ as a function of time.

For all tests, record:

n as a function of t ;

θ_w = winding temperatures (either directly or by resistance variation);

θ_a = inlet/outlet temperature of the primary cooling medium.

For the following tests record additionally:

When running open-circuited, excited at rated voltage (Test 2):

P_2 during initial operation before retardation at rated voltage;

U_2 open-circuit rated voltage.

For synchronous machines, when running with the stator terminals short-circuited (Test 3):

I_a armature current.

For the additional tests, when the moment of inertia is unknown, record additionally (Tests 4 to 7):

P_4 input power of the unloaded motor, that is equal to the sum of the mechanical loss P_{fw} and iron loss P_{fe} (the armature circuit I^2R loss is ignored);

P_5 transformer no-load loss;

- U_5 open-circuit rated voltage;
 P_6 transformer short-circuit loss;
 I_a armature current;
 P_7 exciter or auxiliary generator load.

6.3.3 Determination of deceleration and retardation constant

6.3.3.1 General

This chord method requires the measurement of the time interval $(t_2 - t_1)$ during which the speed of the tested machine changes from $n_N (1 + \delta)$ to $n_N (1 - \delta)$, see Figure 3. The ratio of speed interval $2 \delta n_N$ to $(t_2 - t_1)$ is approximately the deceleration at rated speed:

$$\frac{2 \delta n_N}{t_2 - t_1} \approx - \left. \frac{dn}{dt} \right|_{n = n_N}$$

where

δ is the per unit deviation of rotational speed from rated speed.

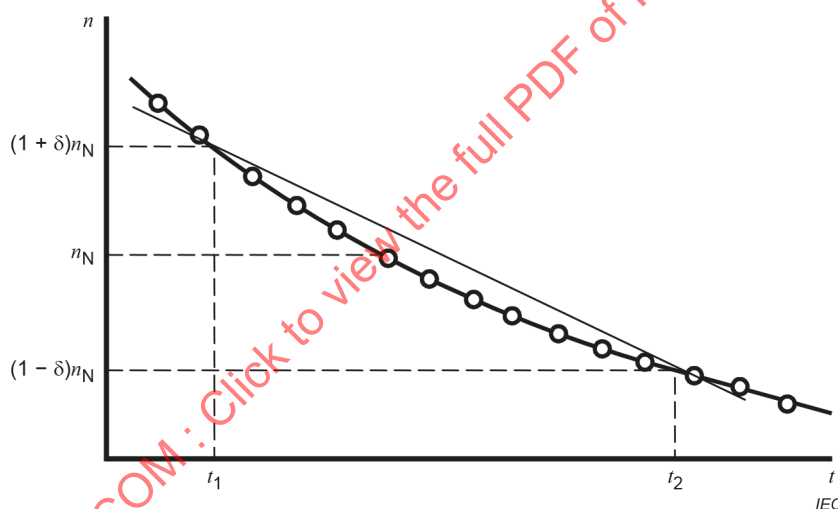


Figure 3 – Method of the chord

Determine the deceleration for the required tests and record as:

$$\left. \frac{dn}{dt} \right|_t$$

where:

t is the number of the test according to 6.3.2.

NOTE According to the definition dn/dt is a negative value.

6.3.3.2 Known moment of inertia

When the moment of inertia of a machine's rotating part has been previously determined by either measurement (preferred) or by design calculation, the retardation constant is calculated from:

$$C = 4\pi^2 \times J$$

where:

J is the moment of inertia.

6.3.3.3 Unknown moment of inertia

6.3.3.3.1 General

In case of an unknown inertia one of the tests 4 to 7 shall be performed to determine the inertia.

6.3.3.3.2 Test 4 – Operation as an unloaded motor

When the test machine is operated as an unloaded motor, the input power is equal to the sum of the mechanical loss P_{fw} and iron loss P_{fe} (the armature circuit I^2R loss is ignored), then the retardation constant C is determined from the formula:

$$C = - \frac{P_{fw} + P_{fe}}{n_N \times \left. \frac{dn}{dt} \right|_4}$$

6.3.3.3.3 Test 5 – Retarded by open-circuited transformer

When the test machine is retarded by the transformer open-circuit loss, with the ohmic I^2R loss according to the transformer open-circuit current ignored, then:

$$P_{fw} + P_{fe} + P_5 = -C \times n_N \times \left. \frac{dn}{dt} \right|_5$$

hence

$$C = - \frac{P_5}{n_N \left\{ \left. \frac{dn}{dt} \right|_5 - \left. \frac{dn}{dt} \right|_4 \right\}}$$

6.3.3.3.4 Test 6 – Retarded by short-circuited transformer

When the test machine is retarded by the transformer short-circuit loss, with the iron loss corresponding to magnetic flux in the short-circuited transformer ignored, then

$$P_{fw} + P_{sc} + P_6 = -C \times n_N \times \left. \frac{dn}{dt} \right|_6$$

hence

$$C = - \frac{P_6}{n_N \left\{ \left. \frac{dn}{dt} \right|_6 - \left. \frac{dn}{dt} \right|_3 \right\}}$$

6.3.3.3.5 Test 7 – Retardation by exciter or auxiliary generator

When the test machine is retarded by the exciter or auxiliary generator loaded with a ballast resistance, the retardation losses consist only of the test machine mechanical loss P_{fw} and the measured load P_7 (with allowance for efficiency of the exciter or auxiliary generator which can be determined by calculations). Then:

$$P_{fw} + P_7 = -C n_N \left. \frac{dn}{dt} \right|_7$$

hence

$$C = - \frac{P_7}{n_N \left\{ \left. \frac{dn}{dt} \right|_7 - \left. \frac{dn}{dt} \right|_1 \right\}}$$

6.3.4 Determination of separate losses

6.3.4.1 General

The tested loss P_t which retards the machine is:

$$P_t = -C n_N \times \left. \frac{dn}{dt} \right|_t$$

where:

n_N is rated speed,

P_t is tested loss,

C is retardation constant;

$\left. \frac{dn}{dt} \right|_t$ is the deceleration from test t, where t is the specific test number according to 6.3.2.

6.3.4.2 Friction and windage losses

The friction and windage (mechanical) loss P_{fw} of the test machine are:

$$P_{fw} = -C n_N \times \left. \frac{dn}{dt} \right|_1$$

6.3.4.3 Iron losses

The iron loss P_{fe} is:

$$P_{fe} = -C \times n_N \times \left. \frac{dn}{dt} \right|_2 - P_{fw}$$

Excitation should be provided by a separate source.

6.3.4.4 Short-circuit losses

The short-circuit loss P_k is:

$$P_{sc} = -C \times n_N \times \left. \frac{dn}{dt} \right|_3 - P_{fw}$$

Excitation should be provided by a separate source.

6.3.4.5 Separation of additional and short-circuit losses

The sum of the I^2R loss and the additional loss in the armature circuit is determined as the difference of losses measured in the third and first test. Separation of this sum into components, if required, is done by subtracting from it the I^2R loss in the armature circuit calculated from the armature circuit resistance corresponding to the test temperature.

Losses evaluated according to above mentioned procedures, may be used to determine total machine losses and efficiency according to 6.1.2.

6.4 Method 2-2-C – Calorimetric method

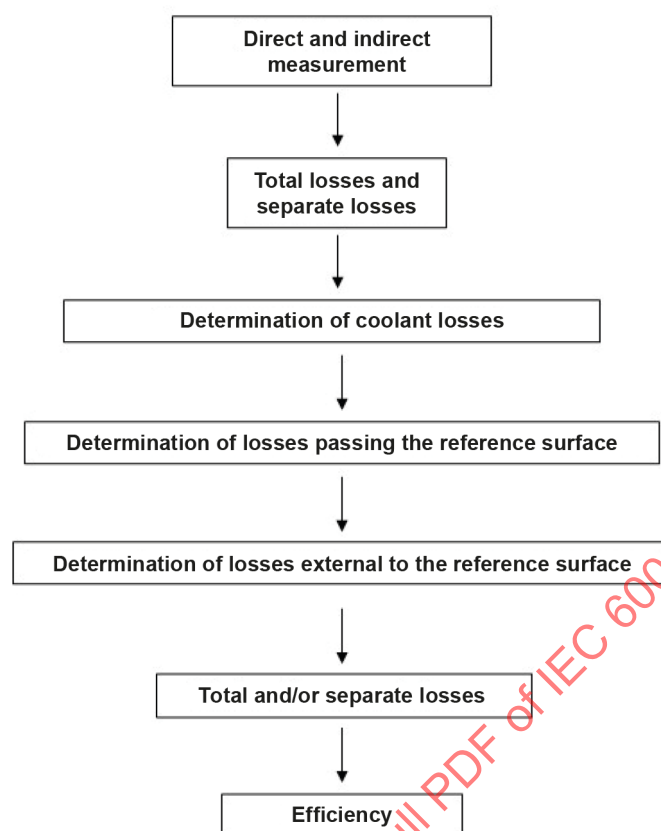
6.4.1 General

The calorimetric method may be used to determine the efficiency of large electrical rotating machinery:

- a) either by the determination of the total loss on load, or
- b) by the determination of the separate losses.

In the calorimetric method losses are determined from the product of the amount of coolant and its temperature rise, and the heat dissipated in the surrounding media.

For an overview, Figure 4 provides a flowchart for efficiency determination by this test method.



IEC

Figure 4 – Efficiency determination according to method 2-2-C

Calorimetric losses of the machine consist of:

- losses inside the reference surface P_{irs} ,
- losses outside the reference surface P_{ers} (for example external bearings, excitation equipment, external motors for water-cooling pumps).

The loss inside the reference surface P_{irs} is determined from:

$$P_{irs} = P_{irs,1} + P_{irs,2}$$

where:

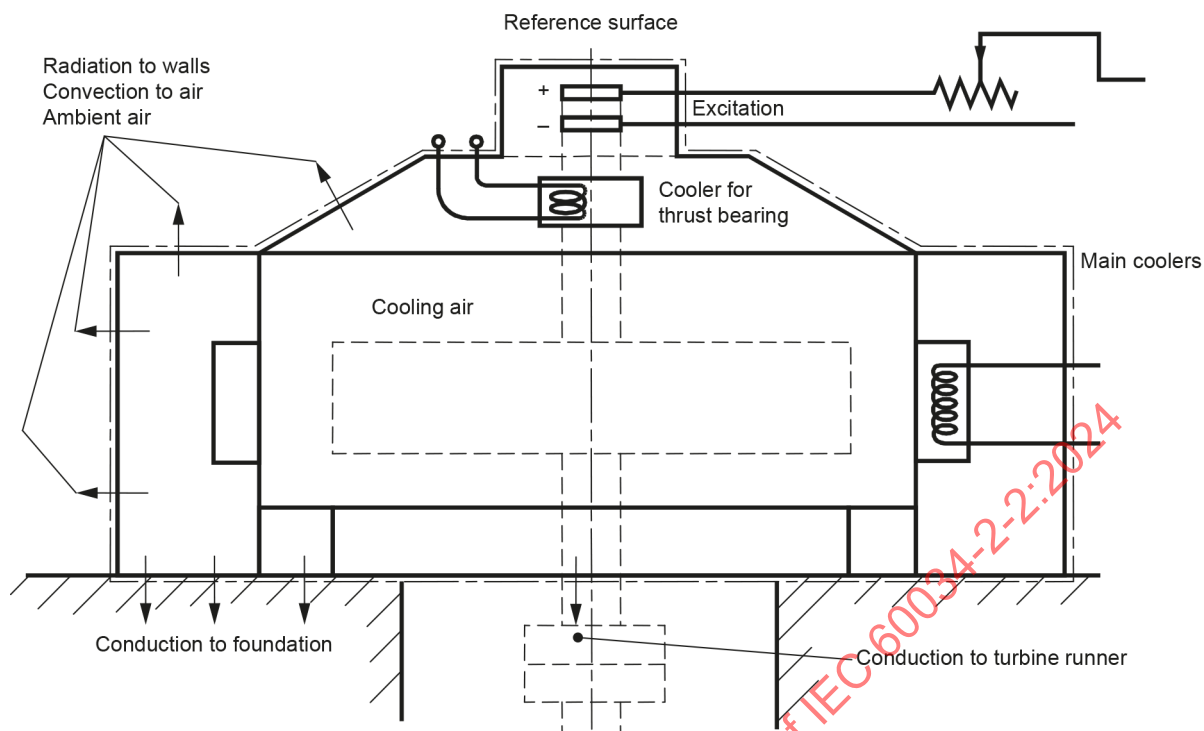
$P_{irs,1}$ is the loss measured calorimetrically;

$P_{irs,2}$ is the loss dissipated through the reference surface by conduction, convection, radiation, leakage, etc.

The reference surface is a surface surrounding the machine such that all losses produced inside it (P_{irs}), and not measured calorimetrically, are dissipated through it to the outside (see Figure 5).

The excitation equipment may or may not be inside the reference surface. When outside the reference surface the excitation equipment losses should be determined separately either by measurement or by calculation.

NOTE $P_{irs,2}$ may be negative and therefore subtracted when heat from surrounding ambient flows into the reference surface.



IEC

Figure 5 – Reference surface

6.4.2 Calorimetric instrumentation

6.4.2.1 Flowmeters

The volume rate of flow of fluids is best measured by volumetric or velocity type flowmeters. Other measuring methods with the same or greater accuracy may be used.

Install the flowmeters in accordance with manufacturer's instructions (straight sections up and downstream, position, etc.). It is recommended to control the flow of the cooling fluid by operating a valve placed downstream from the flowmeter.

Care should be taken that no air bubbles be present in the water.

The flowmeters shall be calibrated before and after the measurements in conditions similar to those prevailing during the test measurements.

In the case of volumetric measurements, the time shall be measured by means of an electrical timing device. The measuring time shall be at least 5 min during at least 2 intervals. The average values shall be recorded.

When measurement is made with a direct-reading flowmeter, 20 readings shall be recorded and an average value determined.

Provisions shall be made to measure both water pressure and temperature at the flowmeter.

6.4.2.2 Thermal detectors

Thermal measurements shall be made preferably by platinum resistance temperature detectors placed directly in the liquid coolant and positioned in-line with each other so as to obtain direct readings for determination of the temperature rise of the liquid coolant (water, oil).

For measurement of external surface temperatures, sensing devices like for example thermochromic sticks are also allowed.

Thermocouples are permitted, but their improper use could increase the uncertainty. Thermal detectors placed in oil-filled thermometric pockets are also permitted but add additional uncertainty.

The thermal instruments shall be calibrated before and after the tests.

Recording instruments shall be used.

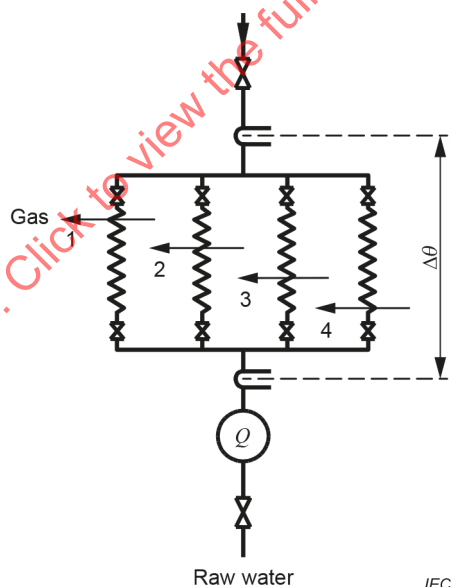
Where possible, water pipes should be insulated from the reference surface and well behind the measuring point to avoid heat transfer to the outside.

Equalizing baffle shall be installed to obtain homogeneous flow.

6.4.2.3 Coolers

Calorimetric measurements should be performed separately on every cooling circuit. With a single-medium coolant, one or more calorimeters are needed for the bearing oil, and one calorimeter for the cooling water of air- or gas-coolers. The use of two primary coolants, for example, hydrogen and pure water, requires one or several calorimeters depending upon the connection of the coolers and the scope of measurement.

Figure 6 shows four gas-to-water coolers connected in parallel.



NOTE The result is independent of the distribution of water in the paralleled coolers, of the gas distribution, and of the distribution of losses in the partial gas flows 1 to 4.

Figure 6 – Four coolers connected in parallel, single calorimeter, single coolant

Figure 7 shows a series connection of coolers for use with two-fluid cooling.

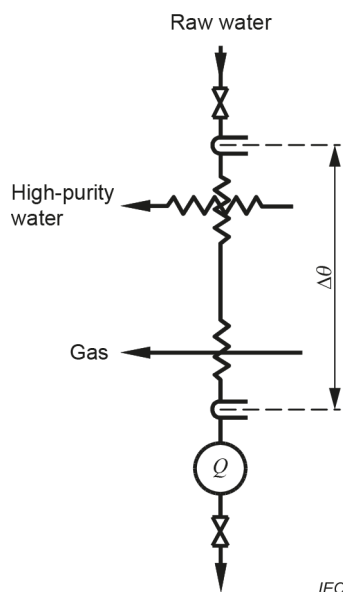


Figure 7 – Series connected coolers, two coolants

For both cases the total of the dissipated losses is determined from the measurement of the volume rate of flow of the cooling water Q , and by measuring the total temperature rise $\Delta\theta$.

6.4.2.4 Pipe layout and connections

It is advisable to establish the measuring paths for oil and water flow measurements, and the temperature measuring points, when planning the pipe layout, as additions or changes to the installation at a later date are not only costly but can also result in contamination of the bearing oil and high-purity water circuits.

Flowmeter installation shall allow for free pipe lengths between slide valve and flowmeter having the following minimum values as shown in Figure 8: The straight length of inlet piping between flowmeter and S1 is ≥ 10 times and between flowmeter and S2 is ≥ 5 times the nominal diameter of pipe.

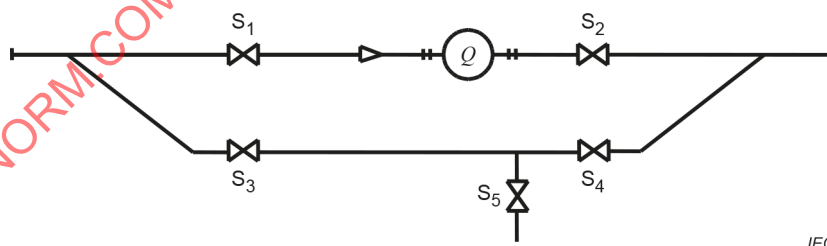
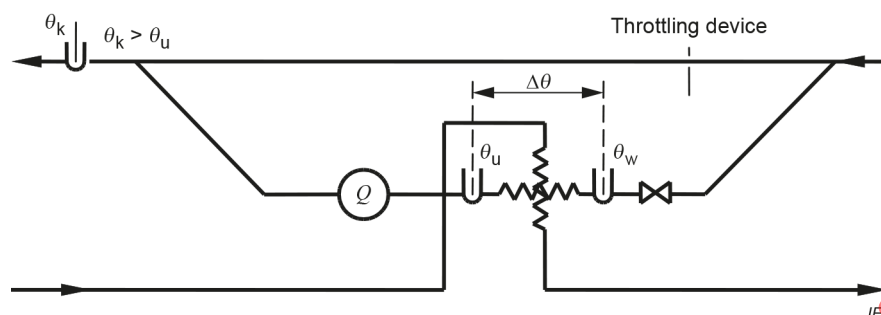


Figure 8 – Bypass piping

To permit flowmeter installation and removal without interrupting operation, a bypass piping arrangement, as shown in Figure 8, permits flowmeter isolation. A small valve S5 is required to verify that no cooling water bypasses the flowmeter (Q), i.e. that the slide valves S3 and S4 are tightly closed.

To obtain an easily measurable temperature, a valve placed downstream from the flowmeter should be used to control the flow of water.

When the temperature rise of the cooling medium is either too small or it is not permissible to change the volume rate of flow (for example bearing oil), bypass calorimetry shall be used which makes possible a larger temperature difference $\Delta\theta$ for improved uncertainty. The parallel piping, with a throttling device, (as shown in Figure 9) permits measuring a fraction of the coolant flow.



Key

Q Flowmeter

θ_w Temperature of hot coolant

θ_u Temperature to which the partial coolant flow within the bypass is cooled down

θ_k Mixed temperature of θ_u and θ_w

Figure 9 – Parallel piping

To improve measuring accuracy, the bearing and its cooling piping should be insulated, if possible.

6.4.3 Test procedure

The test machine shall be completely assembled as for normal operation.

During testing the test machine temperature and the coolant temperature shall be kept as close to normal operating conditions as possible.

Following assembly of the machine, determine the area of the reference surface. Divide the surface into 10 to 15 approximately equal area segments and attach thermal detectors to each segment. Install sufficient thermal detectors in the ambient air to determine the most accurate average temperature rise.

The calorimetric method may be used to determine the following losses:

- Friction and windage losses (with rotor unexcited).
- Active iron losses (at no-load usually at U_N and $1,05 U_N$).
- Stator-winding and additional-load losses (with stator-winding short-circuited usually at I_N and $0,7 I_N$).
- Total losses (usually between 0,5 and 1,0 load at rated and unity power-factor) for determination of efficiency.

When determining the efficiency by adding separate losses it is essential that the measurements should be made at the same cooling-medium temperature.

Operate the machine under the selected test condition until thermal equilibrium is maintained. With respect to coolant temperature thermal equilibrium is reached, when the temperature of the coolant does not vary by more than a gradient of 1 K per half hour.

NOTE For guidance, the duration of the test will vary depending on the method of measuring the losses, and is likely to be 10 h to 15 h for determination of losses at full load, and 15 h to 30 h for determination of losses at no-load.

Following temperature stability, record:

- Average flowmeter values for each calorimeter circuit: Q ; p and θ .
- Temperature-rise values for each calorimeter circuit: θ_n and θ_{n+1} .
- Reference surface area.
- Average reference surface temperatures: θ_{rs} .

6.4.4 Determination of losses

6.4.4.1 General

Test losses of the machine consist of the losses inside the reference surface P_{irs} and the losses outside the reference surface P_{ers} , as defined in 6.4.1.

Losses in bearings inside the reference surface are included in the loss P_{irs} . If possible, they should be measured separately.

6.4.4.2 Coolant loss $P_{irs,1}$

For each operating condition, and when temperature stability has been achieved, the loss dissipated by each coolant circuit is:

$$P_{irs,1} = c_p \times Q \times \rho \times \Delta\theta$$

where

Q is the volume rate of flow of the coolant, (m³/s),

$\Delta\theta$ is the temperature rise ($\theta_{n+1} - \theta_n$) of the coolant in K from the total temperature rise $\Delta\theta$ (Figure 6),

c_p is the specific heat capacity of the cooling medium in J/(kg K) at pressure p ,

ρ is the density of the coolant in kg/m³ at the temperature at the point of flow measurement.

In case of water as a coolant both c_p and ρ are determined from Figure 10.

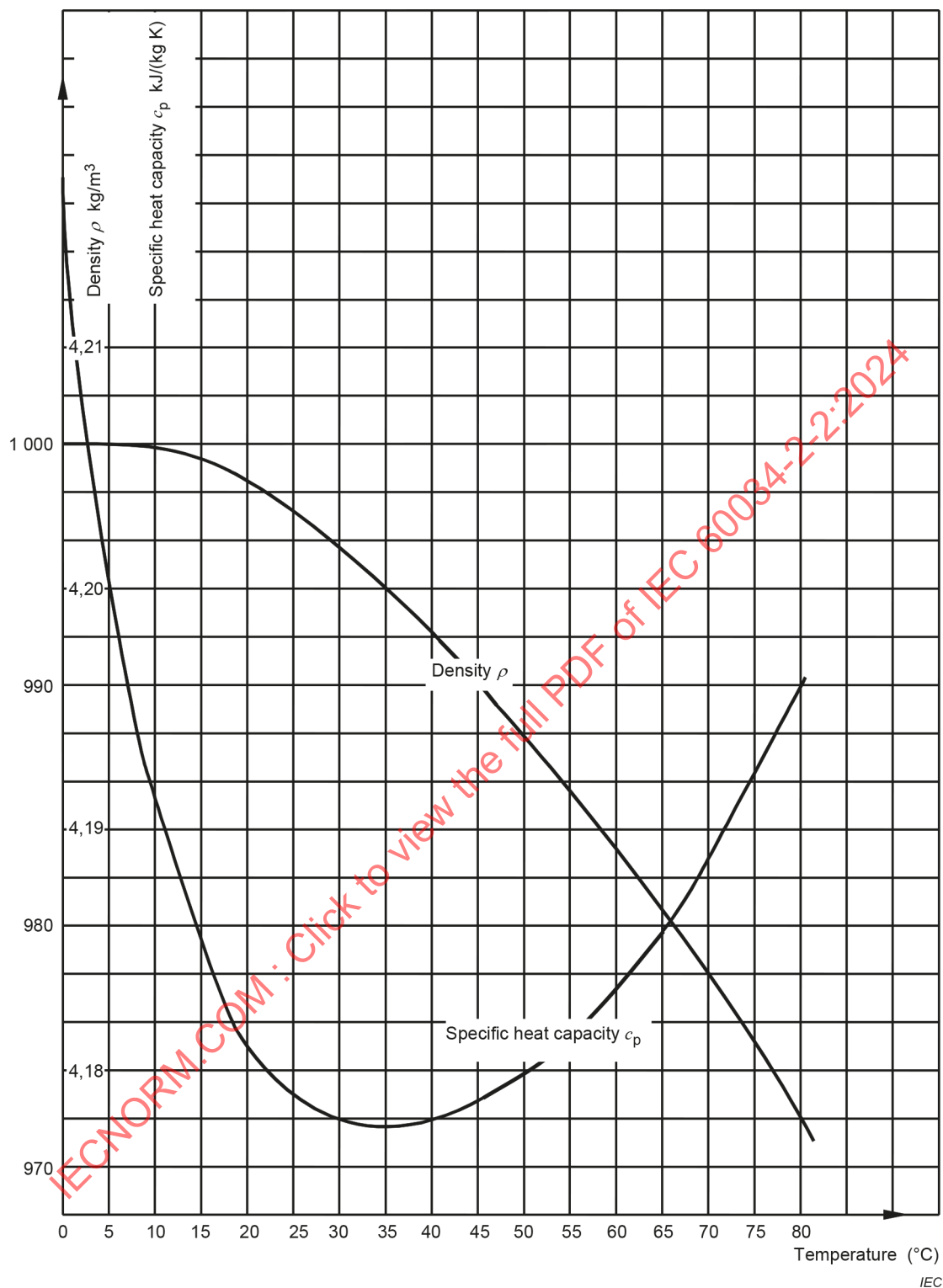


Figure 10 – Characteristics of pure water as a function of temperature

Where there is any doubt as to the accuracy of the factors employed for c_p and ρ , particularly if the cooling water contains salts, it will be necessary for c_p and ρ to be measured.

The temperature measurement includes the difference in temperature due to losses in the coolers and associated pipe-work between measuring points which is assumed to be 1 K for a pressure drop of 0,42 MN/m². The loss corresponding to the pressure drop shall be subtracted from the total losses.

NOTE Bearing losses could be measured using oil as a cooling medium, but there is less uncertainty when measuring on the water side of an oil-to-water heat exchanger because the thermal characteristics of water are better known.

6.4.4.3 Reference-surface loss $P_{irs,2}$

This loss constitutes a small part of the total losses and consists of:

- the losses, dissipated in the foundations and in the shaft by conduction; (usually negligible and very difficult to measure),
- the losses dissipated through the reference surface by conduction, convection, radiation, leakage, etc.

The $P_{irs,2}$ loss should be minimized by suitable insulation of the reference surface on portions of the machine. This procedure is suited to locations where it is difficult to suppress external air current or to maintain relatively constant ambient temperature conditions.

In practice, by conducting the tests in such a way that the loss $P_{irs,2}$ is less than 2,5 % of the loss P_{irs} measured at full load, and less than 5 % of the loss P_{irs} determined by the method of separate loss measurements, only the losses dissipated at the surface of the machine need to be taken into consideration. This loss $P_{irs,2}$ may be obtained from the formula:

$P_{irs,2}$ may be negative when heat flows into the reference surface and shall in this case be subtracted.

$$P_{irs,2} = h \times A \times \Delta\theta$$

where:

$\Delta\theta$ is the temperature difference between the average reference surface temperature and the ambient-air temperature;

A is the area of the reference surface;

h is the heat transfer coefficient for losses dissipated from surfaces in contact with air as follows:

a) For forced-air convection:

- for external surfaces:

$$h = 11 + 3 \times v \text{ [W/(m}^2\cdot\text{K)]},$$

where v is the velocity of ambient air in m/s,

- for surfaces entirely within the machine's external surface:

$$h = 5 + 3 \times v \text{ [W/(m}^2\cdot\text{K)]},$$

where v is the velocity of cooling air in m/s.

b) For natural convection:

The heat transfer coefficient for surfaces under natural convection is generally between 10 W and 20 W/(m² • K). A reasonable assumption being 15 W/(m² • K) when the air currents over the transfer surfaces have been eliminated.

6.4.4.4 External loss, P_{ers}

The loss P_{ers} (which is evaluated separately) consists mainly of the following:

- losses in the main excitation circuit, in voltage regulation, shunt and excitation circuits independent of the exciter,
- losses in the exciter and the slip-rings when their cooling circuits are independent of that of the main machine,
- losses by friction in the bearings, when they are wholly or partly outside the reference surface.

The tested loss is the sum, of all three components:

$$P_t = P_{\text{irs},1} + P_{\text{irs},2} + P_{\text{ers}}$$

The tested loss (either friction and windage losses, iron loss, stator winding and additional load losses or total losses) may be used to determine total machine losses and efficiency according to 6.1.2.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60034-2-2:2024

Annex A (informative)

Summation of losses for permanent-magnet synchronous machines

A.1 General

This method determines efficiency by the summation of separate losses. The respective loss components are:

- stator copper losses P_S and additional load losses P_{LL} ;
- iron losses P_{fe} ;
- friction and windage losses P_{fw} .

This method is only applicable for synchronous machines with permanent magnet excitation. The effort for this test is very high, due to testing with a magnetized and unmagnetized rotor.

NOTE Additional losses caused by converter operation are not covered by the described procedure.

A.2 No-load test with magnetized rotor

Couple the machine to an auxiliary drive and operate at rated speed.

Record:

n Speed.

U_0 No-load voltage.

T Torque.

Check the offset of the torque measuring device before and after the test according to IEC 60034-2-1. If necessary, correct the output torque T by the determined offset.

With the corrected torque, calculate the constant losses at rated speed:

$$P_{c0} = P_{fe0} + P_{fw} = 2 \times \pi \times n \times T$$

A.3 No-load test with unmagnetized rotor

To separate the friction and windage losses from the constant losses in total, the no-load test with magnetized rotor has to be repeated with an unmagnetized rotor. Couple the machine with an unmagnetized rotor to an auxiliary drive and operate at rated speed:

Record:

n Speed.

T Torque.

Check the offset of the torque measuring device before and after test according to IEC 60034-2-1. If necessary, correct the output torque T by the determined offset.

With the corrected torque, calculate the friction and windage losses at rated speed:

$$P_{fw} = 2 \times \pi \times n \times T$$

A.4 Iron losses

Large synchronous machines with permanent magnet excitation are often following a control scheme imposing a pure quadrature current to the stator. In this case the inner voltage at rated load is very close the no-load voltage and by that:

$$P_{fe} \approx P_{fe0} = P_{c0} - P_{fw}$$

In case the control scheme is following an approach leading to a significant deviation between inner voltage at rated load and no-load voltage, the following arithmetical adjustment shall be applied:

$$P_{fe} = P_{fe0} \times \left(\frac{U_{iN}}{U_0} \right)^2$$

with the reactance voltage at load for motor operation (resistance neglected)

$$U_{iN} = \sqrt{(U_N - \cos \varphi_N \times I_N \times X_{1\sigma})^2 + (\sin \varphi_N \times I_N \times X_{1\sigma})^2}$$

where:

U_{iN} is the rated inner voltage per phase;

U_N is the rated voltage per phase;

I_N is the rated current per phase;

$\cos \varphi_N$ is the rated power factor;

$X_{1\sigma}$ is the stator leakage reactance.

A.5 Test with rotor removed

By this test load dependent stator winding losses and additional load losses are determined. The test can be carried out prior to all other tests, e.g. in the manufacturing process before the machine is completely assembled.

NOTE Additional losses caused by space harmonics on the rotor are not covered by this procedure.

The test with rotor removed rotor test is also defined in IEC 60034-4-1 for the determination of the leakage reactance.

The stator of the machine is fed by a frequency variable sinusoidal voltage source, which can supply rated frequency and preferably rated current.

As the stator winding losses and additional load losses depend on the winding temperature, the test shall be carried out at rated temperature conditions. If this is not feasible (i.e. due to insufficient cooling), reduced temperatures are allowed. In this case the measured losses shall be adjusted to rated conditions.

Feed the stator with rated frequency and preferably rated current. If rated current is not feasible, use the highest possible current.

Record:

U_{RR} Voltage.

I_{RR} Current.

$\cos \varphi$ Power factor.

P_{RR} Total losses.

Due to lack of cooling, the test shall be carried out as quickly as possible.

Determine the winding resistance R immediately before and after the test and consider the average value for further evaluations.

During this test also a certain amount of iron losses occurs. These are determined based on the results of the no-load tests. They are represented by the reactance voltage of the stator at the test with rotor removed (resistance neglected):

$$U_{iRR} = \sqrt{(U_{RR} - \cos \varphi \times I_{RR} \times X_{1\sigma})^2 + (\sin \varphi \times I_{RR} \times X_{1\sigma})^2}$$

where:

U_{iRR} is the inner voltage with rotor removed.

With this voltage the iron losses at the test with rotor removed are determined:

$$P_{fe,RR} = P_{fe0} \times \left(\frac{U_{iRR}}{U_0} \right)^2$$

A.6 Rated stator winding losses and additional load losses

The sum of stator winding losses and additional load losses result from the total tested losses at the test with rotor removed reduced by the iron losses at this test:

$$P_{S,RR} + P_{LL,RR} = P_{RR} - P_{fe,RR}$$

These losses are extrapolated to rated current and rated stator winding temperature. In case the rated stator winding temperature has not been measured, reference temperatures according to IEC 60034-2-1 shall be used.

$$P_S + P_{LL} = (P_{S,RR} + P_{LL,RR}) \times \left(\frac{I_N}{I_{RR}} \right)^2 \times \frac{\theta_{W,N} + 235 K}{\theta_{W,RR} + 235 K}$$

The temperature constant 235 is for copper; this shall be adjusted in case of other materials.

In principle, this procedure requires an iterative determination of the reactance voltage, $R_{RR} = P_{LS,RR} / (3 \times I_{RR}^2)$, but in practice the calculation with the measured warm DC resistance is sufficient.

A.7 Total losses

Calculate the total losses at sinusoidal supply $P_{L,1}$:

$$P_T = P_{fe} + P_{fw} + P_S + P_{LL}$$

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60034-2-2:2024

Bibliography

IEC 60034-4-1:2018, *Rotating electrical machines – Part 4-1: Methods for determining electrically excited synchronous machine quantities from tests*

IEC 60050-411:1996, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 411: Rotating machinery*

IEC 60050-411:1996/AMD1:2007

IEC 60050-411:1996/AMD2:2021

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60034-2-2:2024

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60034-2-2:2024

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	38
1 Domaine d'application	40
2 Références normatives	40
3 Termes et définitions	40
4 Symboles et abréviations	41
4.1 Symboles	41
4.2 Indices supplémentaires	42
5 Exigences fondamentales	42
5.1 Détermination directe et indirecte du rendement	42
5.1.1 Généralités	42
5.1.2 Directe	42
5.1.3 Indirecte	43
5.2 Incertitude	43
6 Méthodes d'essai supplémentaires pour la détermination du rendement des machines de grande taille	43
6.1 Généralités	43
6.1.1 Vue d'ensemble	43
6.1.2 Rendement	44
6.1.3 Pertes totales	44
6.2 Méthode 2-2-A – Machine étalonnée	45
6.2.1 Généralités	45
6.2.2 Procédure d'essai	46
6.2.3 Détermination directe du rendement	47
6.2.4 Détermination des pertes séparées	47
6.3 Méthode 2-2-B – Méthode du ralentissement	48
6.3.1 Généralités	48
6.3.2 Procédure d'essai	50
6.3.3 Détermination de la décélération et de la constante de ralentissement	51
6.3.4 Détermination des pertes séparées	54
6.4 Méthode 2-2-C – Méthode calorimétrique	55
6.4.1 Généralités	55
6.4.2 Appareils calorimétriques	57
6.4.3 Procédure d'essai	60
6.4.4 Détermination des pertes	61
Annexe A (informative) Sommation des pertes pour les machines synchrones à aimants permanents	65
A.1 Généralités	65
A.2 Essai à vide avec rotor magnétisé	65
A.3 Essai à vide avec rotor non magnétisé	65
A.4 Pertes dans le fer	66
A.5 Essai avec rotor retiré	66
A.6 Pertes dans l'enroulement du stator et pertes supplémentaires en charge assignées	67
A.7 Pertes totales	68
Bibliographie	69
Figure 1 – Détermination du rendement selon la méthode 2-2-A	45

Figure 2 – Détermination du rendement selon la méthode 2-2-B	48
Figure 3 – Méthode de la corde	52
Figure 4 – Détermination du rendement selon la méthode 2-2-C	55
Figure 5 – Surface de référence.....	56
Figure 6 – Quatre refroidisseurs connectés en parallèle, un seul calorimètre, un seul fluide de refroidissement.....	58
Figure 7 – Refroidisseurs connectés en série, deux fluides de refroidissements	59
Figure 8 – Tuyauterie de dérivation.....	59
Figure 9 – Tuyauterie parallèle	60
Figure 10 – Caractéristiques de l'eau pure en fonction de la température	62
Tableau 1 – Méthodes supplémentaires pour les machines de grande taille.....	43

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60034-2-2:2024

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

**Partie 2-2: Méthodes spécifiques pour déterminer les pertes séparées
des machines de grande taille à partir d'essais –
Complément à l'IEC 60034-2-1**

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Électrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. À cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'IEC attire l'attention sur le fait que la mise en application du présent document peut entraîner l'utilisation d'un ou de plusieurs brevets. L'IEC ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à l'applicabilité de tout droit de brevet revendiqué à cet égard. À la date de publication du présent document, l'IEC n'avait pas reçu notification qu'un ou plusieurs brevets pouvaient être nécessaires à sa mise en application. Toutefois, il y a lieu d'avertir les responsables de la mise en application du présent document que des informations plus récentes sont susceptibles de figurer dans la base de données de brevets, disponible à l'adresse <https://patents.iec.ch>. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets.

L'IEC 60034-2-2 a été établie par le comité d'études 2 de l'IEC: Machines tournantes. Il s'agit d'une Norme internationale.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2010. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) alignement de la disposition et des procédures sur l'IEC 60034-2-1 et l'IEC 60034-2-3;
- b) ajout de l'Annexe A: procédure informative pour la sommation des pertes des machines synchrones de grande taille avec une excitation à aimants permanents.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
2/2157/FDIS	2/2178/RVD

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

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

Le présent document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2. Il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/publications.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60034, publiées sous le titre général *Machines électriques tournantes*, se trouve sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé, ou
- révisé.

MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

Partie 2-2: Méthodes spécifiques pour déterminer les pertes séparées des machines de grande taille à partir d'essais – Complément à l'IEC 60034-2-1

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60034 s'applique aux machines électriques tournantes de grande taille et établit des méthodes supplémentaires pour la détermination des pertes séparées et qui sont destinées à définir un rendement, en complément de l'IEC 60034-2-1. Ces méthodes s'appliquent lorsqu'un essai à pleine charge n'est pas possible ou qu'il présente une plus grande incertitude.

NOTE Un essai in situ est admis selon la méthode calorimétrique dans des conditions à pleine charge.

Les méthodes spécifiques décrites sont:

- la méthode de la machine étalonnée;
- la méthode du ralentissement;
- la méthode calorimétrique;
- la sommation des pertes pour les machines synchrones avec une excitation à aimants permanents.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

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

IEC 60034-2-1, *Machines électriques tournantes – Partie 2-1: Méthodes normalisées pour la détermination des pertes et du rendement à partir d'essais (à l'exclusion des machines pour véhicules de traction)*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'IEC 60034-1 et de l'IEC 60034-2-1 ainsi que les suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

3.1**machine étalonnée**

machine dont la puissance mécanique absorbée ou fournie est déterminée avec une faible incertitude, en utilisant des valeurs électriques de sortie ou d'entrée mesurées selon une procédure d'essai définie

3.2**méthode de la machine étalonnée**

méthode dans laquelle la puissance mécanique absorbée ou fournie par une machine électrique en essai est déterminée à partir de la mesure de la puissance électrique absorbée ou fournie par une machine étalonnée, accouplée mécaniquement à la machine en essai

3.3**méthode du ralentissement**

méthode dans laquelle les pertes séparées d'une machine en essai sont déduites des mesures du taux de ralentissement de ses composants rotatifs, lorsque seules ces pertes sont présentes

3.4**méthode calorimétrique**

méthode dans laquelle les pertes d'une machine sont déduites des mesures de la quantité de chaleur qu'elles produisent

3.5**équilibre thermique**

état atteint lorsque les échauffements des diverses parties de la machine ne varient pas de plus d'un taux de variation de 1 K par demi-heure

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-51-08]

4 Symboles et abréviations**4.1 Symboles**

A	Est une surface, m^2 .
C	Est la constante de ralentissement, $kg\ m^2\ s^2$.
c_p	Est la capacité thermique spécifique du fluide de refroidissement, $J/(kg\ K)$.
h	Est le coefficient de transfert thermique, $W/(m^2\ K)$.
J	Est le moment d'inertie, $kg\cdot m^2$.
n	Est la vitesse de fonctionnement, s^{-1} .
P_1	Est la puissance de sortie, W .
P_{1E}	Est la puissance d'excitation fournie par une source séparée, W .
P_2	Est la puissance de sortie, W .
P_a	Correspond aux pertes dans l'enroulement d'induit I^2R (pertes du pôle auxiliaire, de la bobine de compensation et de l'enroulement de champ série dans le cas des machines à courant continu), W .
P_b	Correspond aux pertes dans les balais, W .
P_c	Correspond aux pertes constantes, W .
P_e	Correspond aux pertes dans le circuit d'excitation, W .
P_{Ed}	Correspond aux pertes dans l'excitatrice, W .
P_{el}	Est la puissance électrique, à l'exclusion de l'excitation, W .

P_f	Correspond aux pertes dans l'enroulement d'excitation (de champ), W.
P_{fe}	Correspond aux pertes dans le fer, W.
P_{fw}	Correspond aux pertes par frottement et par ventilation, W.
P_{sc}	Correspond aux pertes en court-circuit, W.
P_{LL}	Correspond aux pertes supplémentaires en charge, W.
P_{mech}	Est la puissance mécanique, W.
P_r	Correspond aux pertes dans l'enroulement du rotor I^2R , W.
P_s	Correspond aux pertes dans l'enroulement du stator I^2R , W.
P_T	Correspond aux pertes totales, W.
Q	Est le débit volumique du fluide de refroidissement, m ³ /s.
t	Est le temps, s.
v	Est la vitesse de sortie du fluide de refroidissement, m/s.
Δp	Est la différence entre la pression statique dans la buse d'admission et la pression ambiante, N/m ² .
$\Delta\theta$	Est l'augmentation de la température du fluide de refroidissement, ou la différence de température entre la surface de référence de la machine et la température ambiante externe, K.
δ	Est l'écart relatif de la vitesse de rotation par rapport à la vitesse assignée.
ρ	Est la densité du fluide de refroidissement, kg/m ³ .
θ	Est la température, °C.

4.2 Indices supplémentaires

c	Pour le circuit de refroidissement.
E	Pour l'excitatrice.
ers	Pour la surface de référence extérieure.
i	Pour la tension interne.
irs	Pour la surface de référence intérieure.
rs	Pour la surface de référence.
RR	Pour l'essai avec rotor retiré.
t	Essai.
0	À vide.
1	Entrée.
2	Sortie.

5 Exigences fondamentales

5.1 Détermination directe et indirecte du rendement

5.1.1 Généralités

Les essais peuvent être regroupés dans les catégories suivantes.

5.1.2 Directe

Les mesures d'entrée-sortie sur une machine seule sont considérées comme étant directes. Ceci implique la mesure de la puissance électrique ou mécanique absorbée par la machine, et de la puissance mécanique ou électrique fournie par la machine.

5.1.3 Indirecte

Les mesures des pertes séparées dans une machine, dans une condition particulière, sont considérées comme étant indirectes. Il ne s'agit généralement pas des pertes totales, mais cela comprend certaines composantes de pertes. Cependant, la méthode peut être utilisée pour calculer les pertes totales ou pour calculer une composante de perte.

La détermination des pertes totales doit être effectuée par l'une des méthodes suivantes:

- mesure directe des pertes totales;
- sommation des pertes séparées.

NOTE Les méthodes de détermination du rendement des machines sont fondées sur un certain nombre d'hypothèses. Il est par conséquent impossible d'effectuer une comparaison entre des valeurs de rendement obtenues par des méthodes différentes.

5.2 Incertitude

L'incertitude, telle qu'utilisée dans le présent document, est l'incertitude de la détermination d'un rendement réel. Elle reflète les variations dans la procédure d'essai et l'équipement d'essai.

Même s'il convient d'exprimer l'incertitude comme une valeur numérique, une telle exigence nécessite des essais suffisants pour déterminer des valeurs représentatives et comparatives.

6 Méthodes d'essai supplémentaires pour la détermination du rendement des machines de grande taille

6.1 Généralités

6.1.1 Vue d'ensemble

Les méthodes d'essai suivantes peuvent être utilisées pour déterminer les performances, lorsque la charge de la machine et/ou sa taille dépassent les possibilités de l'essai (décrit dans l'IEC 60034-2-1). Voir Tableau 1.

Tableau 1 – Méthodes supplémentaires pour les machines de grande taille

Référence	Méthode	Description	Paragraphe	Application	Dispositifs exigés
2-2-A	Machine étalonnée	Mesure des pertes par une machine étalonnée	6.2	Tous les types de machines	Machine étalonnée
2-2-B	Méthode du ralentissement	Mesure des pertes par ralentissement	6.3	S'applique aux mesures en usine et sur site	
2-2-C	Méthode calorimétrique	Mesure des pertes dans le fluide de refroidissement primaire et le fluide de refroidissement secondaire	6.4	S'applique aux mesures en usine et sur site	

NOTE Ces méthodes s'appliquent généralement aux machines de grande taille pour lesquelles le coût des installations pour les autres méthodes est prohibitif.

La détermination des pertes par rapport à la charge de la machine (avec l'incertitude la plus faible) est meilleure à partir des mesures réelles. Par exemple: des mesures de courant, de résistance, etc., pour un fonctionnement à pleine charge.

Lorsque ceci n'est pas possible, ces valeurs doivent être obtenues d'après le calcul des paramètres au cours de l'étape de conception.

La détermination des pertes non détaillées dans la présente partie peut être consultée dans l'IEC 60034-2-1.

6.1.2 Rendement

Le rendement est:

$$\eta = \frac{P_1 + P_{1E} - P_T}{P_1 + P_{1E}} = \frac{P_2}{P_2 + P_T}$$

où:

P_1 est la puissance d'entrée, à l'exclusion de la puissance d'excitation en provenance d'une source séparée;

P_2 est la puissance de sortie;

P_{1E} est la puissance d'excitation fournie par une source séparée;

P_T correspond aux pertes totales.

NOTE 1 La puissance d'entrée P_1 et la puissance de sortie P_2 sont les suivantes:

pour le fonctionnement en mode moteur: $P_1 = P_{el}$; $P_2 = P_{mech}$;

pour le fonctionnement en mode génératrice: $P_1 = P_{mech}$; $P_2 = P_{el}$.

NOTE 2 P_T inclut les pertes dans le circuit d'excitation P_e de la machine lorsque cela est applicable.

6.1.3 Pertes totales

Lorsque les pertes totales sont déterminées par la somme des pertes séparées, les formules suivantes s'appliquent:

pour les machines à courant continu:

$$P_T = P_c + P_a + P_b + P_{LL} + P_e$$

$$P_e = P_f + P_{Ed}$$

$$P_c = P_{fw} + P_{fe}$$

pour les machines à induction:

$$P_T = P_c + P_s + P_r + P_{LL}$$

$$P_c = P_{fw} + P_{fe}$$

pour les machines synchrones:

$$P_T = P_c + P_s + P_{LL} + P_e$$

$$P_e = P_f + P_{Ed} + P_b$$

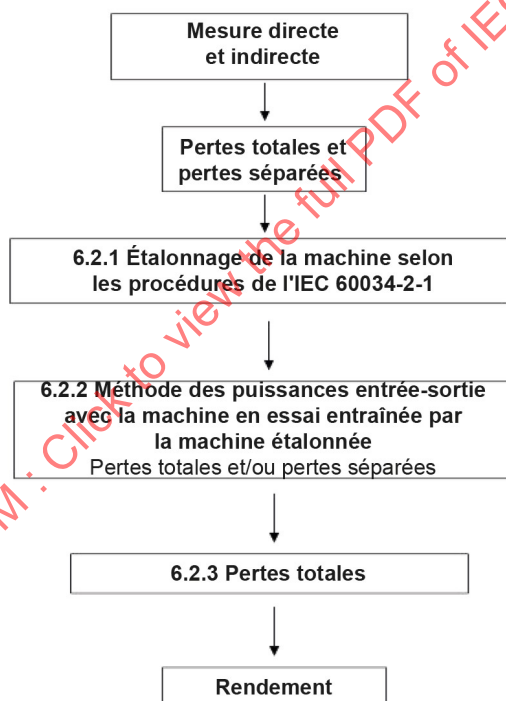
$$P_c = P_{fw} + P_{fe}$$

6.2 Méthode 2-2-A – Machine étalonnée

6.2.1 Généralités

La méthode de la machine étalonnée peut être utilisée pour déterminer le rendement de la machine en essai, soit directement soit par des pertes séparées.

Comme vue d'ensemble, la Figure 1 représente un organigramme pour la détermination du rendement par cette méthode d'essai.



IEC

Figure 1 – Détermination du rendement selon la méthode 2-2-A

Cette méthode est généralement appliquée comme essai en usine.

La machine en essai doit être équipée d'ETD dans les enroulements.

La machine en essai doit être complètement assemblée avec ses composants principaux, comme pour le fonctionnement normal.

Cette méthode nécessite une machine étalonnée couplée mécaniquement à la machine en essai et elle est utilisée en l'absence de couplemètre disponible. La puissance mécanique absorbée par la machine en essai est calculée d'après la puissance électrique absorbée par la machine étalonnée.

Lorsqu'une boîte de vitesses est directement reliée à la machine, elle doit être considérée comme faisant partie de la machine étalonnée.

Étalonner une machine électrique, de préférence une machine à courant continu, selon l'une des procédures de l'IEC 60034-2-1 pour un nombre suffisant de charges thermiquement stables (y compris à vide), afin de déterminer une relation exacte entre la puissance de sortie et la puissance d'entrée réglée pour la température de l'air/du fluide de refroidissement à l'entrée. Ceci est généralement réalisé sous la forme d'une courbe.

Il est généralement conseillé d'enregistrer plusieurs lectures de tous les appareils à chaque point de charge pendant de courtes périodes de temps et d'établir la moyenne des résultats, afin d'obtenir une valeur d'essai plus exacte.

6.2.2 Procédure d'essai

Avant de commencer l'essai, enregistrer les résistances des enroulements et la température ambiante.

La machine dont les performances sont à déterminer doit être couplée mécaniquement à la machine étalonnée, et elle doit fonctionner à une vitesse équivalente à sa vitesse synchrone/assignée.

Faire fonctionner la machine étalonnée avec la machine en essai, à une charge assignée, à une charge partielle, à vide sans excitation, avec ou sans balais, à vide excitée à une tension assignée ou court-circuitée, ce qui permet de déterminer des catégories spécifiques de pertes.

Lorsque la machine en essai fonctionne dans chaque condition d'essai spécifiée et qu'elle a atteint sa stabilité thermique, enregistrer:

- pour la machine étalonnée;
 - P_1 = puissance d'entrée;
 - U_1 = tension d'entrée;
 - I_1 = courant;
 - θ_{1c} = température de l'entrée d'air de refroidissement;
 - θ_{1w} = température des enroulements (par variation de résistance, si possible);
 - n_1 = vitesse;
- pour la machine en essai (détermination directe, comme une génératrice);
 - P_2 = puissance de sortie;
 - U_2 = tension de sortie ou tension d'induit (excitée, à vide);
 - I_2 = courant d'induit en charge;
 - θ_{2w} = température des enroulements (soit directement par ETD soit par variation de résistance);
 - n_2 = vitesse.

À la fin de chaque essai, arrêter les machines et enregistrer dans l'ordre suivant:

- la résistance des enroulements de la machine en essai;
- la résistance des enroulements de la machine étalonnée.

NOTE L'exemple représente des essais réalisés avec un moteur en tant que machine étalonnée.

Enfin, faire fonctionner la machine étalonnée sans connexion électrique à la machine en essai et procéder à des enregistrements comme cela est spécifié ci-dessus.

D'après la courbe élaborée en 6.2.1 et en utilisant les valeurs d'entrée de la machine étalonnée, choisir la puissance de sortie appropriée à la machine en essai.

Régler la puissance de sortie pour la température normalisée du fluide de refroidissement.

La détermination de la puissance d'excitation doit s'effectuer selon l'IEC 60034-2-1.

6.2.3 Détermination directe du rendement

Lorsque la machine en essai est mise en fonctionnement dans les conditions assignées, le rendement de la machine en essai est:

$\eta = \frac{P_2}{P_1}$ machine en essai qui fonctionne en génératrice, machine étalonnée qui fonctionne en moteur

où:

P_2 est la puissance de sortie de la génératrice en essai;

P_1 est la puissance d'entrée calculée de la génératrice en essai;

et:

$\eta = \frac{P_2}{P_1}$ machine en essai qui fonctionne en moteur, machine étalonnée qui fonctionne en génératrice

où:

P_1 est la puissance d'entrée du moteur en essai;

P_2 est la puissance de sortie calculée du moteur en essai.

6.2.4 Détermination des pertes séparées

En utilisant les valeurs de P déterminées d'après la courbe de la machine étalonnée, il est possible de déterminer la puissance dissipée par la machine en essai pour d'autres conditions choisies qui peuvent être utilisées pour déterminer le rendement, conformément au 6.1.2.

- a) Pertes par frottement et par ventilation à la vitesse assignée (lorsque la machine en essai n'est pas connectée électriquement).
- b) Pertes dans le fer actif et pertes supplémentaires à vide dans des machines à courant continu et synchrones (lorsqu'elles sont soumises aux essais à vide, en circuit ouvert, excitées à la tension assignée, moins les pertes par frottement et par ventilation). Pertes de champ d'une source séparée.
- c) Pertes dans l'enroulement du stator et pertes supplémentaires en charge dans des machines synchrones (lorsqu'elles sont soumises aux essais dans des conditions de court-circuit, excitées au courant d'induit assigné, moins les pertes par frottement et par ventilation). Pertes de champ d'une source séparée.

6.3 Méthode 2-2-B – Méthode du ralentissement

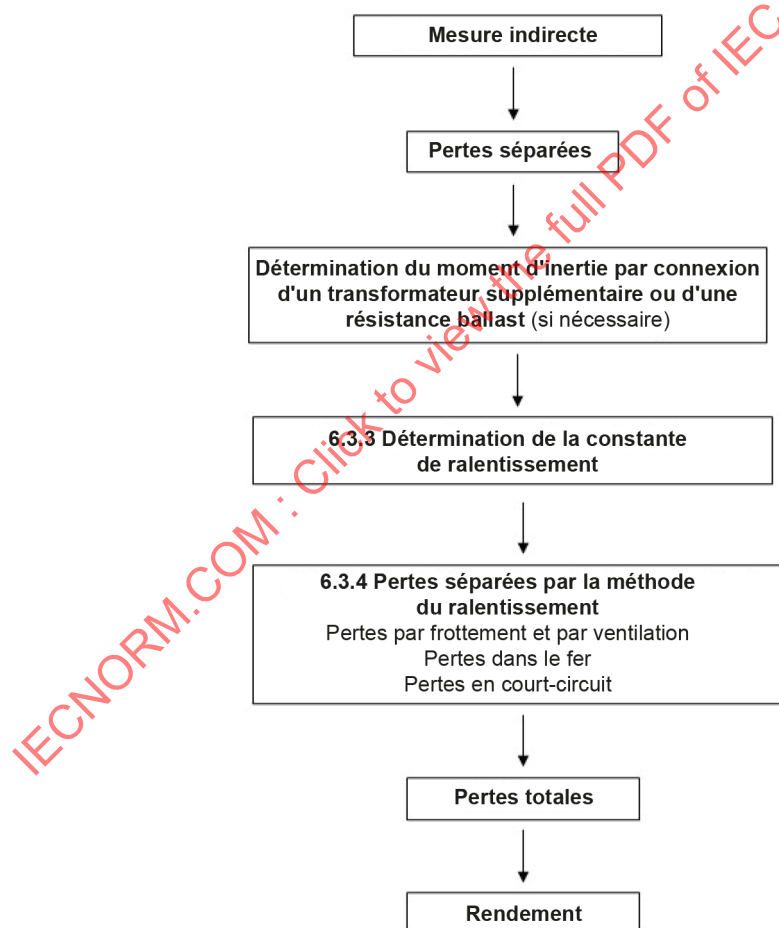
6.3.1 Généralités

La méthode du ralentissement peut être utilisée pour déterminer les pertes séparées des machines électriques tournantes qui ont une inertie en rotation significative.

La méthode du ralentissement est utilisée pour déterminer:

- la somme des pertes dues au frottement et des pertes par ventilation ("pertes mécaniques") dans les machines de tous types;
- la somme des pertes dans le fer actif et des pertes supplémentaires à vide dans les machines à courant continu et dans les machines synchrones;
- la somme des pertes I^2R dans les enroulements primaires et des pertes supplémentaires en charge ("pertes en court-circuit") dans les machines synchrones.

Comme vue d'ensemble, la Figure 2 représente un organigramme pour la détermination du rendement par cette méthode d'essai.



IEC

Figure 2 – Détermination du rendement selon la méthode 2-2-B

Les pertes d'essai enregistrées P_t qui ralentissent la machine sont proportionnelles au produit de la vitesse à laquelle ces pertes correspondent et de la décélération à cette vitesse:

$$P_t = -C \times n \times \frac{dn}{dt}$$

où:

P_t correspond aux pertes mesurées;

C est la constante de ralentissement;

n est la vitesse;

dn/dt est la décélération.

NOTE 1 L'exactitude de la méthode du ralentissement est en relation directe avec l'exactitude de la constante de ralentissement C qui dépend uniquement du moment d'inertie J .

La machine en essai doit être assemblée avec tous ses composants principaux, comme pour le fonctionnement normal, mais désaccouplée des autres pièces tournantes. Un capteur de vitesse approprié doit être fixé à l'élément tournant.

Si la machine ne peut pas être désaccouplée, il convient de prendre toutes les mesures possibles pour réduire les pertes mécaniques dans les autres pièces tournantes, par exemple par démontage partiel ou, dans le cas d'un générateur hydraulique, en empêchant l'eau d'entrer dans la chambre de la roue de turbine. La rotation de la roue de turbine dans l'air produit des pertes par ventilation qu'il convient de déterminer soit expérimentalement soit par des calculs.

NOTE 2 La machine en essai peut être entraînée par sa turbine normale, par exemple dans le cas d'une turbine Pelton, où le courant d'eau vers la roue peut être interrompu instantanément.

L'excitation par une excitatrice accouplée mécaniquement n'est pas recommandée, mais elle peut être admise lorsque la valeur de l'écart de la vitesse δ ne dépasse pas 0,05. Les pertes dans les excitatrices couplées à l'arbre de la machine en essai doivent être prises en compte.

Les températures des paliers doivent être réglées à la température de conception assignée des paliers, en ajustant le débit du fluide de refroidissement.

La température du fluide de refroidissement primaire doit être réglée autant que possible à la température du fluide de refroidissement primaire assignée à laquelle il est exigé de mesurer les pertes par ventilation, par l'ajustement du débit du fluide de refroidissement secondaire.

Sous réserve d'un accord entre le client et le fournisseur, il convient d'indiquer les pertes dans les paliers communs séparément, que ces paliers soient fournis ou non avec la machine.

Les pertes dans les paliers et dans les paliers de butée doivent être soustraites de la somme totale des pertes mécaniques. Si la machine en essai utilise un refroidissement direct (fluide de refroidissement externe fourni directement au palier par la tuyauterie) des paliers, ces pertes sont distribuées entre la machine en essai et toute autre machine couplée mécaniquement à celle-ci, par exemple une turbine, proportionnellement aux masses de leurs pièces tournantes. En l'absence de refroidissement direct, la distribution des pertes dans les paliers doit être déterminée d'après des formules empiriques. Les essais de ralentissement doivent être effectués en série, autant que possible sans interruption. Il est recommandé de commencer et de terminer chaque série d'essais par des essais de ralentissement de la machine en essai non excitée.

Tous les essais doivent être répétés plusieurs fois aux valeurs assignées présélectionnées de tension à vide ou de courant en court-circuit. La valeur de la moyenne arithmétique obtenue à partir de chaque série de mesures doit par hypothèse correspondre à la valeur appropriée des pertes de cette catégorie.

Choisir une valeur de δ (écart relatif de la vitesse de rotation par rapport à la vitesse assignée) qui ne doit pas être supérieure à 0,1 et qui peut devoir être inférieure, en fonction des caractéristiques de la machine.

6.3.2 Procédure d'essai

Connecter électriquement la machine en essai comme moteur (à vide), alimentée par une source d'alimentation séparée qui a une large plage de fréquences variables. Toute excitation doit être obtenue à partir d'une source séparée avec un contrôle de tension rapide et précis.

Accélérer rapidement la machine en essai jusqu'à une vitesse supérieure à $n_N (1 + \delta)$. Déconnecter la machine de sa source d'alimentation. Un délai suffisant doit séparer l'extinction de l'alimentation et le début des mesurages, pour que les régimes électromagnétiques transitoires soient amortis.

Durant la décélération, jusqu'à $n_N (1 - \delta)$, mettre la machine en essai dans l'état exigé, conformément aux essais suivants:

Séquence d'essai habituelle pour déterminer les pertes séparées lorsque l'inertie est connue ou, si elle est inconnue, séquence à suivre après détermination selon l'un des essais 4 à 7:

essai 1: fonctionnement sans excitation;

essai 2: fonctionnement à vide, excitée à la tension assignée;

essai 3: fonctionnement avec les bornes de l'induit court-circuitées et l'excitation fixée pour fournir le courant d'induit assigné.

En variante, les essais peuvent être effectués à différentes valeurs dans des limites de l'ordre de 95 % à 105 % soit de la tension assignée soit du courant de court-circuit assigné.

Lorsque le moment d'inertie est inconnu, des essais supplémentaires doivent être effectués avec les mêmes valeurs que celles déterminées aux essais 2 et 3, selon l'essai 4, l'essai 5, l'essai 6 ou l'essai 7.

Essai 4: fonctionnement en moteur à vide.

Essai 5: fonctionnement sans excitation, connecter la machine en essai à un transformateur réglé précédemment à vide et exciter aux valeurs présélectionnées de tension à vide.

Essai 6: fonctionnement sans excitation, connecter la machine en essai à un transformateur réglé précédemment en court-circuit et exciter aux valeurs présélectionnées de courant.

Essai 7: fonctionnement sans excitation, charger en même temps l'excitatrice ou la génératrice auxiliaire avec une résistance ballast à une charge prédéterminée.

Chaque essai de ralentissement doit être répété au moins 2 fois.

Les mesures de tension et de courant doivent être obtenues à l'instant où la machine en essai passe par la vitesse assignée, sauf dans le cas d'un essai de ralentissement sans excitation.

Si l'excitation n'est pas fournie par une source séparée, la puissance du circuit d'excitation doit être mesurée.

Les valeurs mesurées de la tension à vide ou du courant de court-circuit ne doivent pas différer des valeurs présélectionnées de plus de $\pm 2\%$. La valeur finale calculée de la dérivée de la vitesse par rapport au temps pour chacun des essais doit être ramenée aux valeurs présélectionnées à partir d'une loi proportionnelle au carré du rapport de la valeur présélectionnée à celle mesurée.

Des dispositifs d'enregistrement à haute exactitude, avec un enregistrement continu ou discret des valeurs d'essai de vitesse et de temps, doivent être utilisés.

Pour chaque catégorie d'essai, effectuer suffisamment de mesurages pour localiser avec exactitude les points $n_N (1 + \delta)$ et $n_N (1 - \delta)$ en fonction du temps.

Pour tous les essais, enregistrer:

n en fonction de t ;

θ_w = températures des enroulements (soit directement soit par variation de résistance);

θ_a = température d'entrée/de sortie du fluide de refroidissement primaire.

Pour les essais suivants, enregistrer en outre:

en fonctionnement à vide, excitée à la tension assignée (Essai 2);

P_2 durant le fonctionnement initial avant ralentissement à la tension assignée;

U_2 tension assignée à vide;

pour les machines synchrones, en fonctionnement avec les bornes du stator en court-circuit (Essai 3);

I_a courant d'induit;

pour les essais supplémentaires, lorsque le moment d'inertie est inconnu, enregistrer en outre (Essais 4 à 7);

P_4 puissance d'entrée du moteur à vide, qui est égale à la somme des pertes mécaniques P_{fw} et des pertes dans le fer P_{fe} (les pertes dans le circuit d'induit I^2R sont ignorées);

P_5 pertes du transformateur à vide;

U_5 tension assignée à vide;

P_6 pertes du transformateur en court-circuit;

I_a courant d'induit;

P_7 charge de l'excitatrice ou de la génératrice auxiliaire.

6.3.3 Détermination de la décélération et de la constante de ralentissement

6.3.3.1 Généralités

La méthode de la corde nécessite la mesure de l'intervalle de temps $(t_2 - t_1)$ pendant lequel la vitesse de la machine en essai passe de $n_N (1 + \delta)$ à $n_N (1 - \delta)$ (voir Figure 3). Le rapport de l'intervalle de vitesse $2 \delta n_N$ à $(t_2 - t_1)$ correspond approximativement à la décélération à la vitesse assignée:

$$\frac{2 \delta n_N}{t_2 - t_1} \approx - \left. \frac{dn}{dt} \right|_{n = n_N}$$

où

δ est l'écart relatif de la vitesse de rotation par rapport à la vitesse assignée.

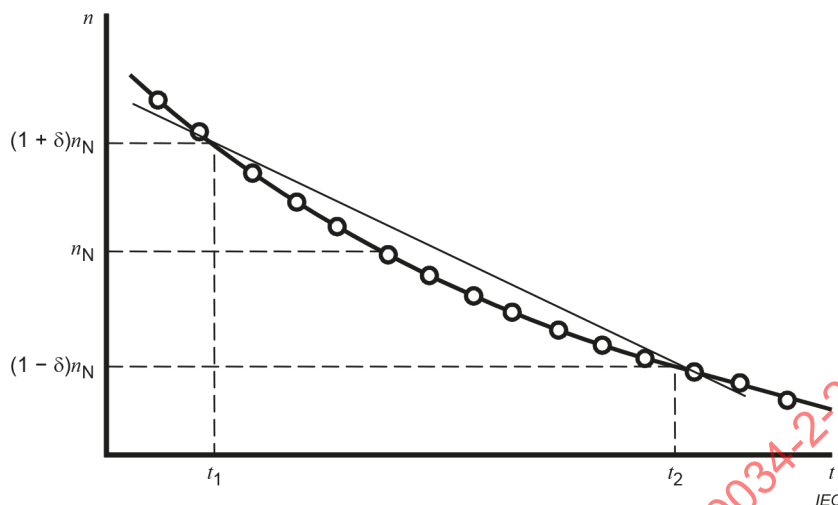


Figure 3 – Méthode de la corde

Déterminer la décélération pour les essais exigés et enregistrer:

$$\left. \frac{dn}{dt} \right|_t$$

où:

t est le numéro de l'essai selon 6.3.2.

NOTE Selon la définition, dn/dt est une valeur négative.

6.3.3.2 Moment d'inertie connu

Lorsque le moment d'inertie d'une pièce tournante de la machine a été déterminé au préalable, soit par une mesure (de préférence) soit par calcul de conception, la constante de ralentissement est calculée d'après:

$$C = 4\pi^2 \times J$$

où:

J est le moment d'inertie.

6.3.3.3 Moment d'inertie inconnu

6.3.3.3.1 Généralités

Dans le cas où l'inertie est inconnue, l'un des essais 4 à 7 doit être effectué pour déterminer l'inertie.

6.3.3.3.2 Essai 4 – Fonctionnement en moteur à vide

Lorsque la machine en essai fonctionne en moteur à vide, la puissance d'entrée étant égale à la somme des pertes mécaniques P_{fw} et des pertes dans le fer P_{fe} (les pertes dans le circuit d'induit I^2R sont ignorées), alors la constante de ralentissement C est déterminée d'après la formule:

$$C = - \frac{P_{fw} + P_{fe}}{n_N \times \left. \frac{dn}{dt} \right|_4}$$

6.3.3.3.3 Essai 5 – Ralentissement par transformateur à vide

Lorsque la machine en essai est ralentie par les pertes du transformateur à vide, et que les pertes par effet Joule I^2R qui correspondent au courant à vide du transformateur sont négligées, alors:

$$P_{fw} + P_{fe} + P_5 = -C \times n_N \times \left. \frac{dn}{dt} \right|_5$$

donc

$$C = - \frac{P_5}{n_N \left\{ \left. \frac{dn}{dt} \right|_5 - \left. \frac{dn}{dt} \right|_4 \right\}}$$

6.3.3.3.4 Essai 6 – Ralentissement par transformateur court-circuité

Lorsque la machine en essai est ralentie par les pertes du transformateur en court-circuit, et que les pertes dans le fer qui correspondent au flux magnétique du transformateur court-circuité sont négligées, alors:

$$P_{fw} + P_{sc} + P_6 = -C \times n_N \times \left. \frac{dn}{dt} \right|_6$$

donc

$$C = - \frac{P_6}{n_N \left\{ \left. \frac{dn}{dt} \right|_6 - \left. \frac{dn}{dt} \right|_3 \right\}}$$

6.3.3.3.5 Essai 7 – Ralentissement par excitatrice ou génératrice auxiliaire

Lorsque la machine en essai est ralentie par la charge d'une excitatrice ou d'une génératrice auxiliaire sur une résistance ballast, les pertes qui entraînent le ralentissement ne comportent que les pertes mécaniques de la machine en essai P_{fw} et de la charge mesurée P_7 (compte tenu du rendement de l'excitatrice ou de la génératrice auxiliaire, qui peut être déterminé par calculs). Alors:

$$P_{fw} + P_7 = -C n_N \left. \frac{dn}{dt} \right|_7$$

donc

$$C = - \frac{P_7}{n_N \left\{ \left. \frac{dn}{dt} \right|_7 - \left. \frac{dn}{dt} \right|_1 \right\}}$$

6.3.4 Détermination des pertes séparées

6.3.4.1 Généralités

Les pertes de l'essai P_t qui ralentissent la machine sont:

$$P_t = -C n_N \times \left. \frac{dn}{dt} \right|_t$$

où:

n_N est la vitesse assignée;

P_t correspond aux pertes de l'essai;

C est la constante de ralentissement;

$\left. \frac{dn}{dt} \right|_t$ est la décélération de l'essai t , où t est le numéro d'essai spécifique selon 6.3.2.

6.3.4.2 Pertes par frottement et par ventilation

Les pertes par frottement et par ventilation (mécaniques) P_{fw} de la machine en essai sont:

$$P_{fw} = -C n_N \times \left. \frac{dn}{dt} \right|_1$$

6.3.4.3 Pertes dans le fer

Les pertes dans le fer P_{Fe} sont:

$$P_{Fe} = -C \times n_N \times \left. \frac{dn}{dt} \right|_2 - P_{fw}$$

Il convient que l'excitation soit fournie par une source séparée.

6.3.4.4 Pertes en court-circuit

Les pertes en court-circuit P_k sont:

$$P_{sc} = -C \times n_N \times \left. \frac{dn}{dt} \right|_3 - P_{fw}$$

Il convient que l'excitation soit fournie par une source séparée.

6.3.4.5 Séparation des pertes supplémentaires et en court-circuit

La somme des pertes I^2R et des pertes supplémentaires dans le circuit d'induit est déterminée comme la différence des pertes mesurées lors du troisième et du premier essai. La séparation de cette somme en composants, si nécessaire, est effectuée en retranchant de celle-ci les pertes I^2R dans le circuit d'induit, calculées d'après la résistance du circuit d'induit qui correspond à la température d'essai.

Les pertes évaluées selon les procédures susmentionnées peuvent être utilisées pour déterminer les pertes totales de la machine et le rendement conformément au 6.1.2.

6.4 Méthode 2-2-C – Méthode calorimétrique

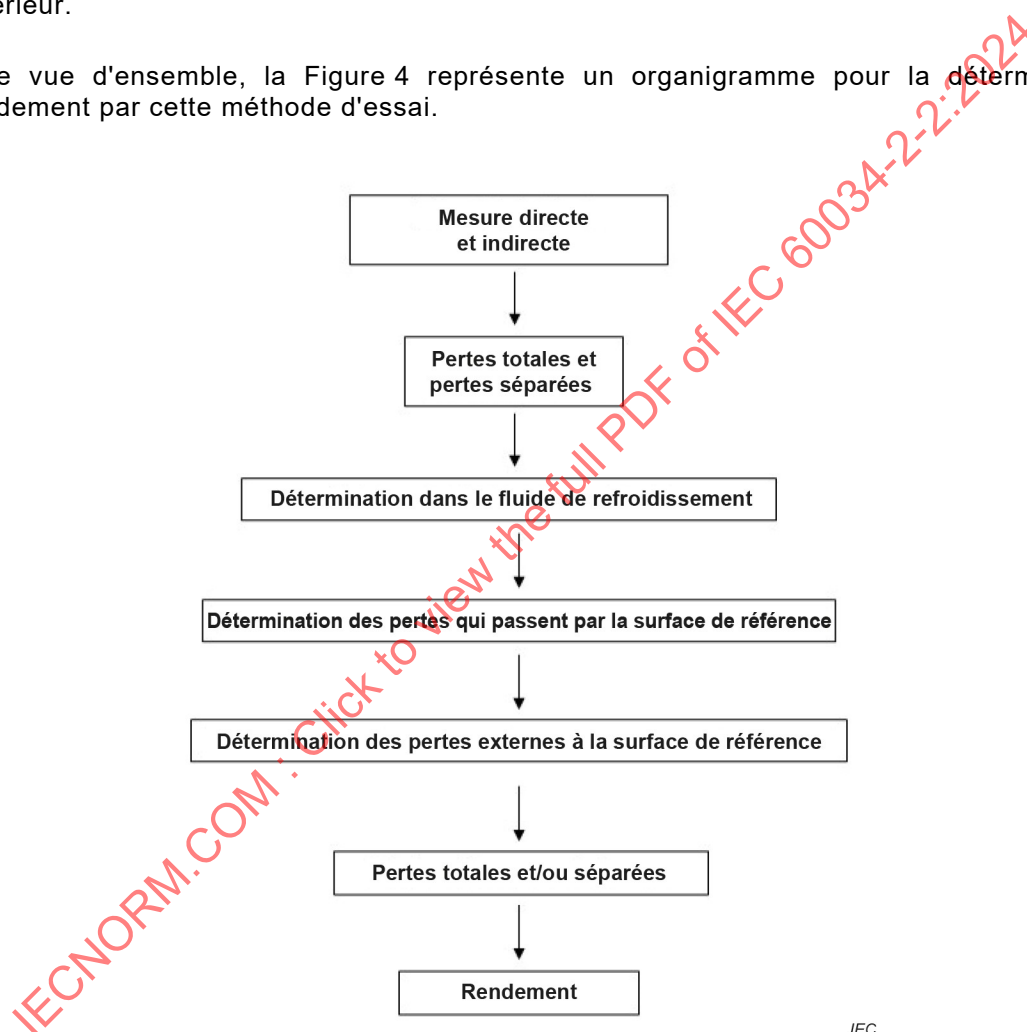
6.4.1 Généralités

La méthode calorimétrique peut être utilisée pour déterminer le rendement de machines électriques tournantes de grande taille:

- a) soit en déterminant les pertes totales en charge;
- b) soit en déterminant les pertes séparées.

Dans la méthode calorimétrique, les pertes sont déterminées à partir du produit de la quantité de fluide de refroidissement par son échauffement, et de la quantité de chaleur dissipée à l'extérieur.

Comme vue d'ensemble, la Figure 4 représente un organigramme pour la détermination du rendement par cette méthode d'essai.



IEC

Figure 4 – Détermination du rendement selon la méthode 2-2-C

Les pertes calorimétriques de la machine sont constituées:

- des pertes à l'intérieur de la surface de référence P_{irs} ;
- des pertes à l'extérieur de la surface de référence P_{ers} (par exemple, les paliers externes, le matériel d'excitation, les moteurs externes pour les pompes de refroidissement par eau).

Les pertes à l'intérieur de la surface de référence P_{irs} sont déterminées d'après:

$$P_{irs} = P_{irs,1} + P_{irs,2}$$

où:

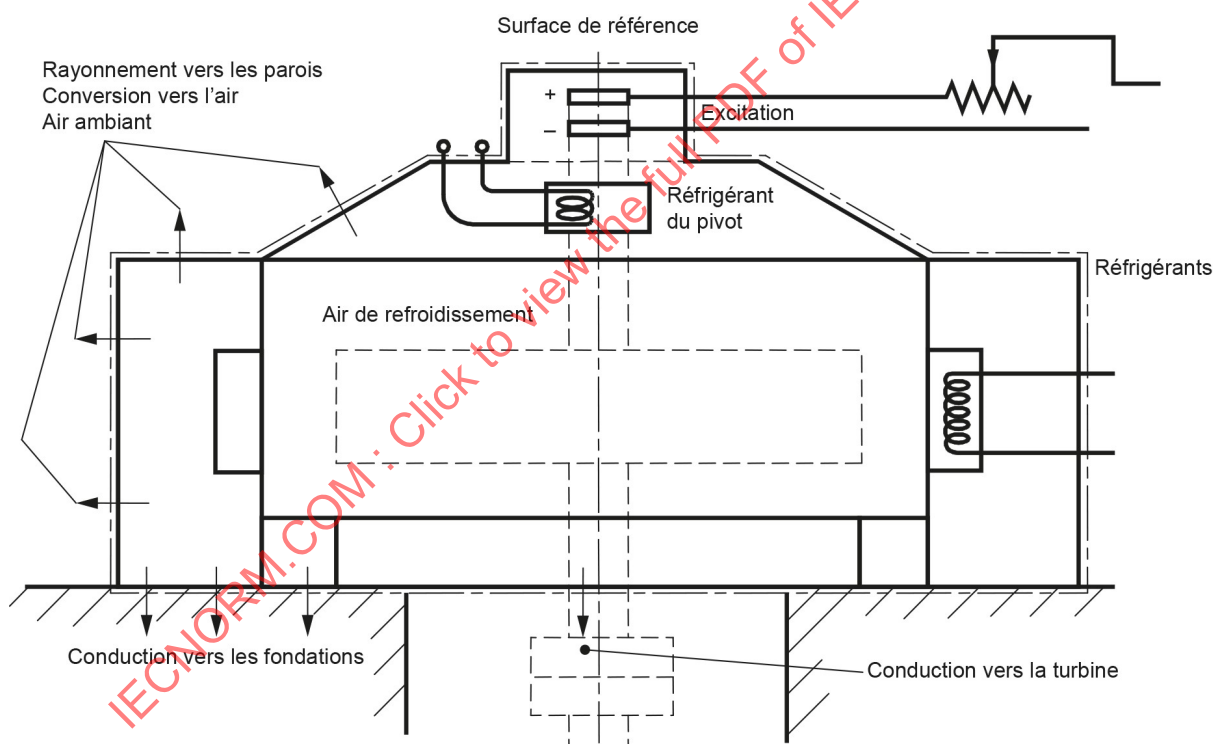
$P_{irs,1}$ correspond aux pertes mesurées de façon calorimétrique;

$P_{irs,2}$ correspond aux pertes dissipées à travers la surface de référence par conduction, convection, rayonnement, fuite, etc.

La surface de référence est une surface qui enveloppe la machine, de sorte que toutes les pertes produites à l'intérieur de celle-ci (P_{irs}), et non mesurées de façon calorimétrique, sont dissipées à travers celle-ci vers l'extérieur (voir Figure 5).

Le matériel d'excitation peut se trouver ou non à l'intérieur de la surface de référence. Lorsqu'il est à l'extérieur de la surface de référence, il convient de déterminer les pertes du matériel d'excitation séparément, soit par un mesurage soit par calcul.

NOTE Les pertes $P_{irs,2}$ peuvent être négatives et en conséquence soustraites, lorsque la chaleur en provenance de l'extérieur s'écoule dans la surface de référence.



IEC

Figure 5 – Surface de référence

6.4.2 Appareils calorimétriques

6.4.2.1 Débitmètres

Le débit volumique des fluides est mesuré au mieux par des débitmètres de type volumétrique ou de vitesse. D'autres méthodes de mesure avec une exactitude égale ou supérieure peuvent être utilisées.

Installer les débitmètres conformément aux instructions du fabricant (sections rectilignes en amont et en aval, position, etc.). Il est recommandé de contrôler le débit du fluide de refroidissement en actionnant une vanne disposée en aval du débitmètre.

Il convient de veiller à ce qu'il n'y ait aucune bulle d'air présente dans l'eau.

Les débitmètres doivent être étalonnés avant et après les mesurages dans des conditions similaires à celles qui prévalent durant les mesurages de l'essai.

Dans le cas de mesures volumétriques, le temps doit être mesuré au moyen d'un dispositif de chronométrage électrique. Le temps de mesure doit être au moins de 5 min, durant au moins 2 intervalles. Les valeurs moyennes doivent être enregistrées.

Lorsqu'une mesure est obtenue avec un débitmètre à lecture directe, 20 lectures doivent être enregistrées, afin de déterminer une valeur moyenne.

Des dispositions doivent être prises pour mesurer à la fois la pression et la température de l'eau dans le débitmètre.

6.4.2.2 Détecteurs thermiques

Les mesures thermiques doivent être obtenues de préférence au moyen de détecteurs de température à résistance de platine, placés directement dans le liquide de refroidissement et alignés les uns sur les autres, de façon à obtenir des lectures directes pour déterminer l'élévation de température du liquide de refroidissement (eau, l'huile).

Pour le mesurage des températures des surfaces externes, des dispositifs de détection tels que des tiges thermochromiques sont également admis.

Des thermocouples sont autorisés, mais leur utilisation incorrecte peut augmenter l'incertitude. Des détecteurs thermiques disposés dans des poches thermométriques remplies d'huile sont également autorisés, mais ils ajoutent une incertitude supplémentaire.

Les instruments thermiques doivent être étalonnés avant et après les essais.

Des instruments d'enregistrement doivent être utilisés.

Si cela est possible, il convient d'isoler les tuyaux d'eau de la surface de référence, et ce bien après le point de mesure, pour éviter un transfert de chaleur vers l'extérieur.

Une chicane d'égalsation doit être installée pour obtenir un écoulement homogène.