

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE

**Rotating electrical machines –  
Part 19: Specific test methods for d.c. machines on conventional and  
rectifier-fed supplies**

**Machines électriques tournantes –  
Partie 19: Méthodes spécifiques d'essai pour machines à courant continu à  
alimentation conventionnelle ou redressée**



## THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2014 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 Central Office  
3, rue de Varembe  
CH-1211 Geneva 20  
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00  
[info@iec.ch](mailto:info@iec.ch)  
[www.iec.ch](http://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 corrigenda or an amendment might have been published.

#### IEC Catalogue - [webstore.iec.ch/catalogue](http://webstore.iec.ch/catalogue)

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

#### IEC publications search - [www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)

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](http://webstore.iec.ch/justpublished)

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

#### Electropedia - [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 14 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

#### IEC Glossary - [std.iec.ch/glossary](http://std.iec.ch/glossary)

More than 55 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

#### IEC Customer Service Centre - [webstore.iec.ch/csc](http://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: [csc@iec.ch](mailto:csc@iec.ch).

### 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.

#### Catalogue IEC - [webstore.iec.ch/catalogue](http://webstore.iec.ch/catalogue)

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

#### Recherche de publications IEC - [www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)

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](http://webstore.iec.ch/justpublished)

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

#### Electropedia - [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 14 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

#### Glossaire IEC - [std.iec.ch/glossary](http://std.iec.ch/glossary)

Plus de 55 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

#### Service Clients - [webstore.iec.ch/csc](http://webstore.iec.ch/csc)

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: [csc@iec.ch](mailto:csc@iec.ch).



IEC 60034-19

Edition 2.0 2014-09

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE

**Rotating electrical machines –  
Part 19: Specific test methods for d.c. machines on conventional and  
rectifier-fed supplies**

**Machines électriques tournantes –  
Partie 19: Méthodes spécifiques d'essai pour machines à courant continu à  
alimentation conventionnelle ou redressée**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

PRICE CODE  
CODE PRIX

S

ICS 29.160

ISBN 978-2-8322-1861-7

**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, definitions, symbols and subscripts.....                                            | 6  |
| 3.1 Terms and definitions.....                                                               | 6  |
| 3.2 Symbols.....                                                                             | 7  |
| 3.3 Subscripts.....                                                                          | 7  |
| 4 Determination of current and voltage specific quantities (rectifier-fed) .....             | 7  |
| 4.1 General.....                                                                             | 7  |
| 4.2 Current ripple.....                                                                      | 7  |
| 4.3 Voltage ripple.....                                                                      | 8  |
| 4.4 Measurement of average values .....                                                      | 8  |
| 4.5 Measurement of root-mean-square values .....                                             | 8  |
| 4.6 Calculation of current and voltage ripple factors and form factor .....                  | 8  |
| 5 Determination of the armature circuit inductance .....                                     | 8  |
| 5.1 Procedure performed before starting the tests .....                                      | 8  |
| 5.2 Measurement of armature circuit inductance of shunt and compound-wound machines .....    | 8  |
| 5.3 Measurement of armature circuit inductance of series-excited machine .....               | 9  |
| 5.4 Calculation of armature circuit inductance $L_a$ on the basis of direct measurement..... | 9  |
| 5.5 Saturated armature circuit inductance at a loaded condition.....                         | 9  |
| 6 Determination of shunt-field inductance .....                                              | 10 |
| 6.1 General.....                                                                             | 10 |
| 6.2 Unsaturated shunt-field inductance.....                                                  | 10 |
| 6.3 Saturated shunt-field inductance.....                                                    | 10 |
| 6.4 Shunt-field inductance with consideration of eddy current effect .....                   | 10 |
| 6.5 Shunt-field inductance without consideration of eddy current effect.....                 | 11 |
| 7 Determination of black-band zone.....                                                      | 12 |
| 7.1 General.....                                                                             | 12 |
| 7.2 Set-up.....                                                                              | 12 |
| 7.3 Test procedure.....                                                                      | 13 |
| 7.3.1 Operating conditions.....                                                              | 13 |
| 7.3.2 Determination of the minimum current of the commutating winding .....                  | 14 |
| 7.3.3 Determination of the maximum current of the commutating winding .....                  | 14 |
| 7.4 Calculation of black-band width ( $\Delta_n$ ) and black-band shift ( $\delta_n$ ) ..... | 14 |
| 8 Determination of the maximum permissible rate of change of armature current.....           | 15 |
| 8.1 General.....                                                                             | 15 |
| 8.2 Set-up.....                                                                              | 15 |
| 8.3 Test procedure.....                                                                      | 16 |
| 8.3.1 Operating conditions.....                                                              | 16 |
| 8.3.2 Measuring the rise of armature current .....                                           | 16 |
| 8.4 Calculation of initial rate of change of armature current .....                          | 16 |
| 9 Additional losses and efficiency of rectifier-fed d.c. motors .....                        | 17 |
| 9.1 General.....                                                                             | 17 |
| 9.2 Measurement procedure .....                                                              | 17 |

|                                                                                     |                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----|
| 9.3                                                                                 | Calculation of efficiency .....                   | 18 |
| 10                                                                                  | Determination of speed regulation .....           | 18 |
| 10.1                                                                                | General.....                                      | 18 |
| 10.2                                                                                | Operating conditions .....                        | 18 |
| 10.3                                                                                | Test procedure.....                               | 18 |
| 10.4                                                                                | Determination of speed regulation.....            | 18 |
| 11                                                                                  | Determination of the shunt regulation curve ..... | 18 |
| 11.1                                                                                | General .....                                     | 18 |
| 11.2                                                                                | Operating conditions .....                        | 19 |
| 11.3                                                                                | Test procedure.....                               | 19 |
| 11.4                                                                                | Determination of the shunt regulation curve ..... | 19 |
| 12                                                                                  | Determination of the magnetisation curve .....    | 19 |
| 12.1                                                                                | General.....                                      | 19 |
| 12.2                                                                                | Operating conditions .....                        | 19 |
| 12.3                                                                                | Test procedure.....                               | 19 |
| 12.3.1                                                                              | General .....                                     | 19 |
| 12.3.2                                                                              | Test at no-load .....                             | 19 |
| 12.3.3                                                                              | Test at rated load .....                          | 20 |
| 12.4                                                                                | Determination of the magnetisation curve .....    | 20 |
| Figure 1 – Determination of saturated armature circuit inductance .....             |                                                   | 9  |
| Figure 2 – Test circuit for saturated shunt field inductance measurement .....      |                                                   | 10 |
| Figure 3 – Determination of the field inductance .....                              |                                                   | 11 |
| Figure 4 – Test circuit for black-band testing.....                                 |                                                   | 12 |
| Figure 5 – Additional generator used to boost or subtract the armature current..... |                                                   | 13 |
| Figure 6 – Black-band zone for a specified constant speed of rotation .....         |                                                   | 14 |
| Figure 7 – Test circuit for rate of change of armature current measurement.....     |                                                   | 15 |
| Figure 8 – Transient build-up of armature current .....                             |                                                   | 16 |
| Figure 9 – Test circuit for measurement of ripple losses .....                      |                                                   | 17 |

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

## ROTATING ELECTRICAL MACHINES –

**Part 19: Specific test methods for d.c. machines  
on conventional and rectifier-fed supplies**

## 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) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60034-19 has been prepared by IEC technical committee 2: Rotating machinery.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1995. It constitutes a technical revision. The main technical changes with regard to the previous edition are as follows:

- a) The description of the procedure for black band testing has been detailed and clarified.
- b) Procedures for measurement of the magnetization curves under no-load and load conditions have been added.

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

| FDIS        | Report on voting |
|-------------|------------------|
| 2/1756/FDIS | 2/1764/RVD       |

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

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

NOTE A table of cross-references of all IEC TC 2 publications can be found on the IEC TC 2 dashboard on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

## **ROTATING ELECTRICAL MACHINES –**

### **Part 19: Specific test methods for d.c. machines on conventional and rectifier-fed supplies**

#### **1 Scope**

This part of IEC 60034 applies to d.c. machines rated 1 kW and above operating on rectifier-fed power supplies, d.c. buses or other d.c. sources.

Standardized methods are provided for determining characteristic quantities for conventional and rectifier-fed d.c. machines.

Excluded are d.c. machines for specific applications.

These methods supplement the requirements in IEC 60034-1 and IEC 60034-2-1.

NOTE It is not intended that this standard should be interpreted as requiring the carrying out of any or all of the tests described therein on any given machine.

#### **2 Normative references**

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. 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, definitions, symbols and subscripts**

##### **3.1 Terms and definitions**

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

###### **3.1.1**

###### **current ripple**

peak-to-peak amplitude of the armature current of rectifier-fed d.c. machines

###### **3.1.2**

###### **voltage ripple**

peak-to-peak amplitude of the terminal voltage of rectifier-fed d.c. machines

###### **3.1.3**

###### **time constant**

time to achieve 63,2 % of steady-state value after applying a d.c. step input, assuming a first order system



**3.1.4****black band zone**

interval between the current limits of the commutating poles, between which sparkless commutation is attainable for load currents up to and including rated current

**3.1.5****sparkless**

absence of any type of sparking

**3.2 Symbols**

|            |                                         |
|------------|-----------------------------------------|
| $C$        | is the capacitance, [F]                 |
| $f$        | is the frequency, [Hz]                  |
| $I, i$     | is the current, [A]                     |
| $L$        | is the inductance, [H]                  |
| $n$        | is the speed, [ $\text{min}^{-1}$ ]     |
| $P$        | is the power, [W]                       |
| $R$        | is the winding resistance, [ $\Omega$ ] |
| $t$        | is the time, [s]                        |
| $U$        | is the voltage, [V]                     |
| $\Delta_n$ | is the black band width, [%]            |
| $\delta_n$ | is the black band shift, [%]            |
| $\tau$     | is the time constant, [s]               |
| $\theta$   | is the phase angle                      |

**3.3 Subscripts**

|          |                 |
|----------|-----------------|
| 1        | input           |
| 2        | output          |
| a        | armature        |
| b        | boost           |
| e        | exciter         |
| f        | field           |
| LL       | additional loss |
| n        | test point      |
| N        | rated condition |
| s        | subtract        |
| 0        | no-load         |
| $\infty$ | ultimate        |

**4 Determination of current and voltage specific quantities (rectifier-fed)****4.1 General**

This test serves to determine the variation of the terminal voltage and armature current for rectifier-fed d.c. machines at rated conditions.

**4.2 Current ripple**

The armature current ripple is best measured with an oscilloscope incorporating capability for reading both d.c. and a.c. values. An alternative method is to use a peak-to-peak reading

voltmeter, reading the voltage drop across a non-inductive resistor in series with the armature circuit.

### 4.3 Voltage ripple

The voltage ripple may be measured using an oscilloscope, a suitable oscillograph or an electronic peak-to-peak indicating voltmeter in series with an appropriate blocking capacitor of sufficient size not to affect the a.c. readings.

It should be noted that in measuring the peak-to-peak value, deviations from the main waveform due to high frequency spikes should be ignored.

### 4.4 Measurement of average values

In the case of rectifier supply, the average d.c. values of armature voltage and current can be measured using permanent-magnet moving-coil type instruments, or other instruments including digital instrumentation known to provide true average readings.

### 4.5 Measurement of root-mean-square values

Root-mean-square values can be measured using electrodynamicometer type, moving-iron type, or other instruments including digital instrumentation known to provide true r.m.s. readings. AC instrumentation of the type using rectifiers to sense only a portion of the voltage or current signal and instruments whose calibration is based on the assumption of a sinusoidal waveform shall not be used. Oscilloscope readings of the voltage and current signals are recommended.

### 4.6 Calculation of current and voltage ripple factors and form factor

The current ripple factors and the form factor shall be calculated using the formulas of IEC 60034-1, with maximum, minimum, average and r.m.s. waveform values measured according to 4.2 to 4.5 of this part. The voltage ripple factor shall be calculated similar to the current ripple factor.

## 5 Determination of the armature circuit inductance

### 5.1 Procedure performed before starting the tests

It is recommended to measure the armature circuit inductance by applying a single phase 50 Hz or 60 Hz alternating current to the armature circuit terminals of the machine. The rotor shall be locked to prevent rotation. Normal carbon brushes can be used if the alternating current is limited to approximately 20 % of the current rating of the machine to avoid overheating of the brushes or of the commutator during the short tests. The brushes shall be completely in contact with the commutator surface and inspected before the test is started and after the test is finished.

In declaring values of inductance it shall be stated whether the value refers to the saturated or unsaturated condition.

Measure and record the r.m.s. value of voltage  $U$ , current  $I$ , frequency  $f$  and the phase angle  $\theta$  between voltage and current. The phase angle may be determined using suitable means such as an oscilloscope or a phasemeter, or by an indirect method, e.g. using a wattmeter.

### 5.2 Measurement of armature circuit inductance of shunt and compound-wound machines

The armature circuit inductance of shunt and compound-wound machines is to be measured for both unsaturated and saturated conditions.

For the unsaturated test the shunt-field winding shall be short-circuited to avoid high voltages being induced in the winding. For the saturated test the shunt field is excited as for rated operation from a d.c. power supply, having a current ripple not exceeding 6 %.

### 5.3 Measurement of armature circuit inductance of series-excited machine

The test on a series-excited machine is to be done for the saturated condition only. This test shall be carried out with the series-field winding separately excited at rated current using a d.c. power supply having a current ripple factor not exceeding 6 %.

The saturated inductance, so determined, does not include the inductance contributed by the series-field which shall be determined as described in 6.3 for the saturated shunt-field test.

### 5.4 Calculation of armature circuit inductance $L_a$ on the basis of direct measurement

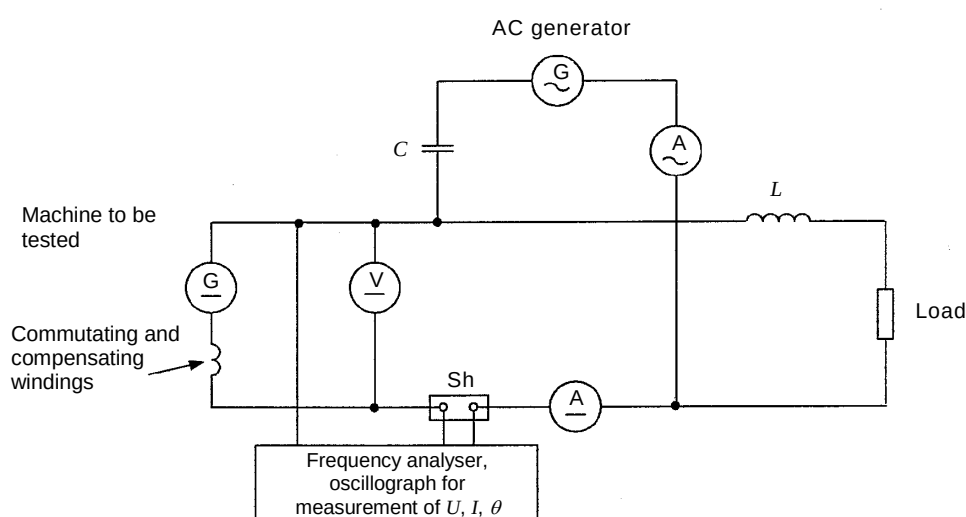
The armature inductance  $L_a$  is given by:

$$L_a = \frac{U \cdot \sin \theta}{2\pi \cdot f \cdot I}$$

where  $U$ ,  $I$ ,  $f$  and  $\theta$  are determined according to 5.1.

### 5.5 Saturated armature circuit inductance at a loaded condition

To determine the saturated armature circuit inductance under load, the machine to be tested shall be operated as a generator at about the specified load current, and an a.c. current of about 20 % of the rated current shall be superposed on the d.c. load current by using an a.c. generator, a capacitor  $C$  and an inductor  $L$ , as shown in Figure 1.



IEC

**Figure 1 – Determination of saturated armature circuit inductance**

The armature circuit inductance is calculated by the same formula as that in 5.4, using the r.m.s. values of a.c. voltage  $U$  and a.c. current  $I$ .

## 6 Determination of shunt-field inductance

### 6.1 General

The shunt-field inductance is to be determined from the rate of rise of shunt-field current upon abrupt application of voltage to the shunt-field terminals. The effective shunt-field inductance is calculated from the rate of rise of direct-axis flux as indicated by the armature voltage appearing at the brushes. During the test the machine is driven at rated full-field speed with the armature open-circuited. The test is to be done for both unsaturated and saturated conditions.

In declaring values of inductance it shall be stated whether the value refers to the saturated or unsaturated condition.

### 6.2 Unsaturated shunt-field inductance

To find the unsaturated inductance, the shunt-field shall be excited from a voltage source having a regulation at rated full-field excitation of the test machine of less than 2 %. The shunt-field voltage is slowly cycled twice between the value yielding rated armature voltage and zero, and then the armature voltage is reduced to approximately 50 % of rated value.

After recording, the shunt-field voltage is reduced to zero and the field circuit is opened. Then the shunt-field voltage is reset to the recorded value. The shunt-field circuit is closed, and then the shunt-field voltage and current, and the armature voltage are observed and recorded against time.

### 6.3 Saturated shunt-field inductance

To find the saturated inductance, the shunt-field excitation shall be set (see Figure 2) so that an abrupt change in field voltage produces a change in open circuit armature voltage from 90 % to 110 % rated value. With the switch closed, the shunt-field supply voltage  $U_f$  is adjusted to produce a field current yielding 110 % of rated armature voltage. With the switch opened,  $R_{ext}$  (see Figure 2) is cycled twice between the values yielding 90 % and 110 % of rated armature voltage, finishing at the 90 % value. The switch is then closed, and the shunt-field voltage and current and the armature voltage are recorded against time.

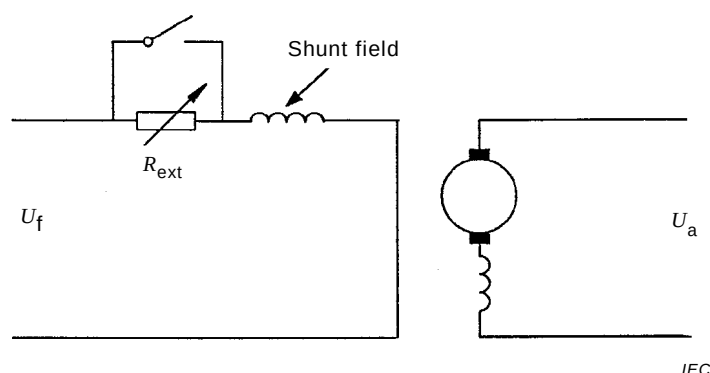


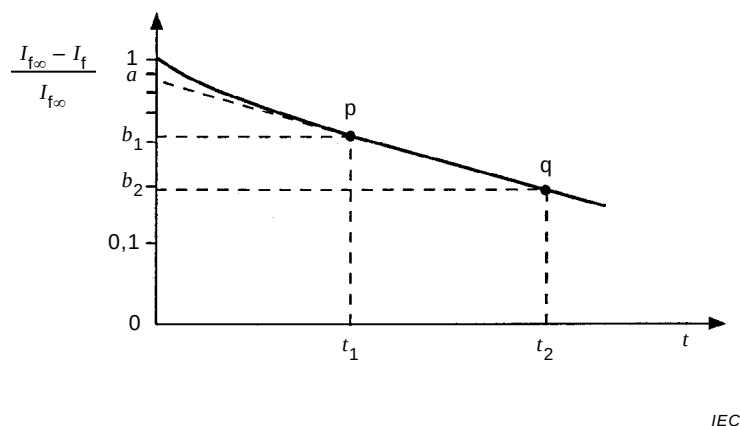
Figure 2 – Test circuit for saturated shunt-field inductance measurement

### 6.4 Shunt-field inductance with consideration of eddy current effect

The field inductance can be calculated taken the effect of eddy currents in the iron core of the machine on the transient field current into account.

The values of  $(I_{f\infty} - I_f)/I_{f\infty}$  against time  $t$  are evaluated using a logarithmic scale for the former, where  $I_f$  is the magnitude of change in field current after the abrupt application of field

voltage and  $I_{f\infty}$  is the ultimate value of  $I_f$ . In Figure 3 two points p and q are arbitrarily chosen within the straight part of the plot. The value "a" is read on the logarithmic scale at the intersection with the ordinate of the extension of the straight line passing through the two points p and q.



**Figure 3 – Determination of the field inductance**

The value "c" shall be calculated by:

$$c = \frac{\log_e b_1 - \log_e b_2}{t_2 - t_1}$$

where

$b_1$  and  $b_2$  are the values of  $(I_{f\infty} - I_f)/I_{f\infty}$  at the time  $t_1$  and  $t_2$  respectively. The value of the field inductance is as follows:

$$L_f = R_f \cdot \frac{a}{c}$$

where

$R_f$  is the field resistance.

NOTE This formula is based on the following approximate formula:

$$I_f = I_{f\infty} \cdot \left( 1 - \frac{\tau_f}{\tau_f + \tau_e} \cdot e^{-\frac{t}{\tau_f + \tau_e}} \right)$$

where

$\tau_f$  is the time constant of the field circuit and  $\tau_e$  is the time constant of the equivalent eddy current circuit.

## 6.5 Shunt-field inductance without consideration of eddy current effect

When the effect of eddy current in the iron core may be neglected the experimental values of shunt-field inductance shall be evaluated from the following expressions:

$$L_f = R_f \times \tau_{fI}$$

$$L_{feff} = R_f \times \tau_{aU}$$

where

$L_f$  is the shunt-field inductance;

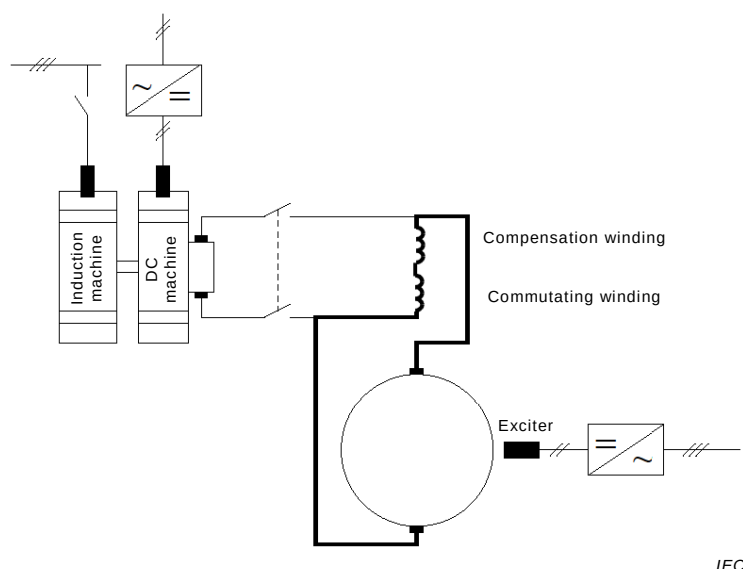
$L_{feff}$  is the shunt-field effective inductance;

- $R_f$  is the d.c. shunt-field resistance measured directly after the test has been completed;  
 $\tau_{fI}$  is the time to achieve 63,2 % of field-current change;  
 $\tau_{aU}$  is the time to achieve 63,2 % of armature-voltage change.

## 7 Determination of black band zone

### 7.1 General

The purpose of black band testing is to determine the limits of over- or under-commutation, between which sparkless commutation is attainable for load currents up to and including rated current. To vary the magnetic field in the quadrature axis, a low voltage additional generator is connected in parallel across the commutating-pole winding (and compensating winding, when fitted) according to Figure 4.



**Figure 4 – Test circuit for black band testing**

Black band testing is applicable to all machines fitted with commutating poles and shall be done at rated base speed and also at rated maximum speed (if applicable). When possible the test shall be done with the machine on load. For machines rated at 500 kW and above, black band testing may be done under generator short-circuit condition. If the test is done with the machine running as a motor, the latter shall be fed from a source of smooth current.

When the test is performed under short-circuit condition, a field current close to zero shall be adjusted and permanently checked for the whole range of armature current up to rated current. A small increase of the field may cause that the control over the armature current is lost.

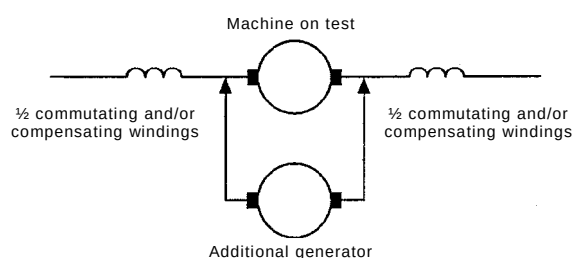
### 7.2 Set-up

For most reliable results, it is recommended that the tests be done on the machine when at its normal operating temperature. It is essential that all brushes are completely in contact with the commutator before starting tests.

It is preferable to perform black band testing using a pure d.c. armature supply. When this is not possible, a rectifier-fed supply is to be used. In such cases it may be necessary to insert a suitable inductance into the circuit of the armature supply.

If the commutating winding and the compensating winding (if any) are connected in series, the additional generator shall be connected as shown in Figure 4. Figure 4 illustrates the short-circuit condition.

If the commutating winding and/or compensating winding is divided and its parts are connected on different sides of the armature winding, the change of commutating current is effected on the armature winding. An additional generator is connected directly across the brushes of the machine on test, used to boost or subtract the armature current (see Figure 5).



IEC

**Figure 5 – Additional generator used to boost or subtract the armature current**

If the commutating winding is connected on one side of the armature winding and the compensating winding on the other side, then the change of current of the commutating poles is achieved by connecting a low-voltage generator in parallel with the commutating winding. The boost current ( $I_b$ ) or subtract current ( $I_s$ ) shall be corrected to an equivalent current ( $I_{b\text{eff}}$ ) by means of the formula:

$$I_{b\text{eff}} = \frac{w_z}{w_z + w_k \cdot a_z/a_k} \cdot I_b$$

where

$w_z$  is the number of turns on one interpole;

$w_k$  is the number of turns of compensating winding falling to one pole;

$a_z$  is the number of interpole winding parallel paths;

$a_k$  is the number of compensating winding parallel paths.

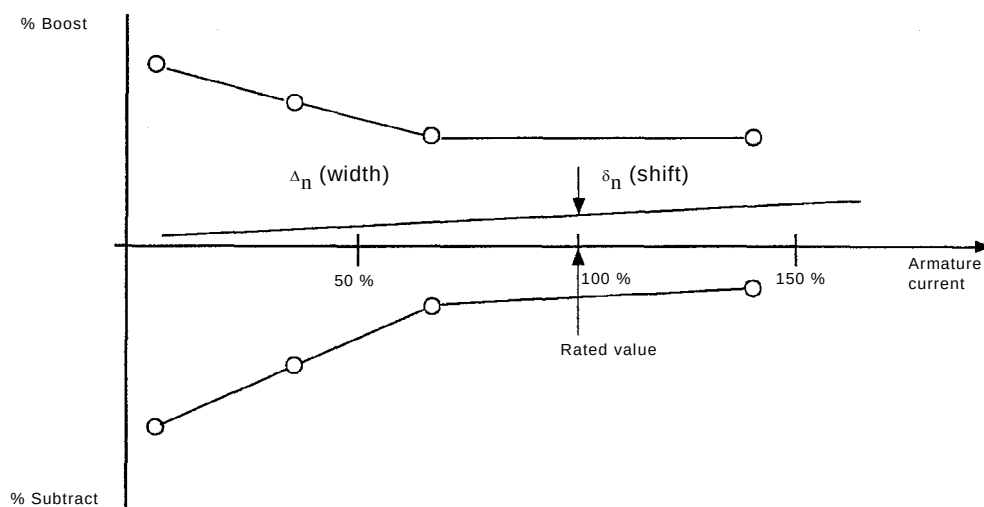
### 7.3 Test procedure

#### 7.3.1 Operating conditions

The tests shall be performed at armature currents ranging from 0 to 100 % of the rated armature current.

When increasing or decreasing the current to the commutating winding, constant values of rotational speed and field current shall be maintained.

The tests are repeated at other values of armature current to obtain further readings which are plotted against armature current in order to find the upper and lower limits of the black band (see Figure 6).



IEC

**Figure 6 – Black band zone for a specified constant speed of rotation**

### 7.3.2 Determination of the minimum current of the commutating winding

To find the minimum current of the commutating winding at a particular load, current is subtracted from the commutating winding. The subtract current is increased until sparking is observed at the commutator, and is gradually decreased until sparking is observed to have just ceased.

### 7.3.3 Determination of the maximum current of the commutating winding

To find the maximum current of the commutating winding at a particular load, current is boosted into the commutating winding. The boost current is increased until sparking is observed at the commutator, and is gradually decreased until sparking is observed to have just ceased.

### 7.4 Calculation of black band width ( $\Delta_n$ ) and black band shift ( $\delta_n$ )

The percentage black band width at each test point shall be expressed as:

$$\Delta_n = \frac{100 \cdot (I_b - I_s)}{I_{aN}} \text{ per cent}$$

The percentage black band shift shall be expressed as:

$$\delta_n = \frac{100 \cdot (I_b + I_s)}{2 \cdot I_{aN}} \text{ per cent}$$

where

$I_b$  is the maximum boost current (according to 7.3.3);

$I_s$  is the maximum subtract current (according to 7.3.2);

$I_{aN}$  is the rated armature current.

In cases where the half black band width is smaller than the black band shift, sparking is to be expected.



It is generally considered that the ideal setting occurs when the shift is equal to zero, i.e. when the horizontal axis lies centrally between the two limits.

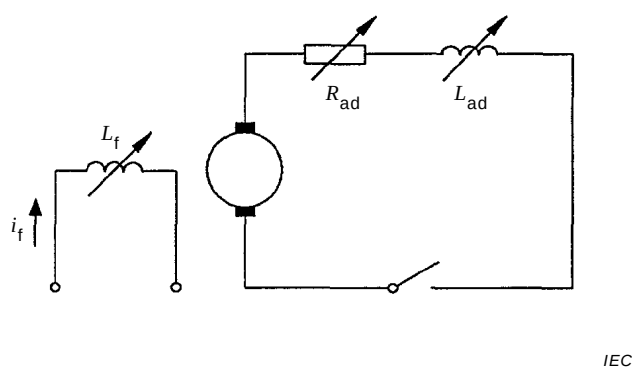
## 8 Determination of the maximum permissible rate of change of armature current

### 8.1 General

The maximum permissible rate of change of the armature current shall be determined by the acceptable limit of commutation. When average and/or initial rates of change of armature current values are agreed between manufacturer and purchaser, the test under consideration may be performed to verify that at specified values commutation is not at its limit.

### 8.2 Set-up

The test circuit is shown in Figure 7.



**Figure 7 – Test circuit for rate of change of armature current measurement**

To find a starting value of the external resistance  $R_{ad}$ , let

$L_{ac}$  and  $R_{ac}$  values of inductance and resistance of the armature;

$L_{ad}$  values of inductance of the external inductor;

$(\Delta i / \Delta t)_{avg}$  average rate of change of armature current;

$I_{aN}$  rated armature current;

$I_{a,max}$  peak armature current.

The external resistance  $R_{ad}$  can then be estimated from:

$$R_{ad} = \frac{U_a}{I_{a,max}} - R_{ac}$$

where:

$$U_a = 3,16 \times (L_{ac} + L_{ad}) \times \left( \frac{\Delta i}{\Delta t} \right)_{avg} \times I_{aN}$$

### 8.3 Test procedure

#### 8.3.1 Operating conditions

The test is performed with the machine operating as a motor at no-load, rated speed and constant field current. Compound wound machines shall have the series winding disconnected during the test, and series wound machines shall be excited separately.

#### 8.3.2 Measuring the rise of armature current

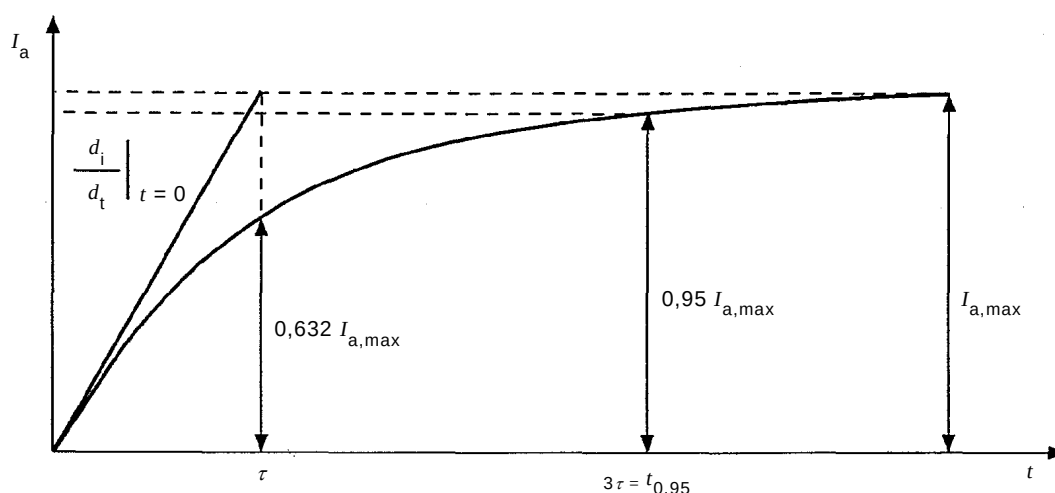
The supply shall be disconnected from the motor and the load resistor and inductor connected across the terminals.

The rate of rise of current shall be recorded on a storage oscilloscope or a recording instrument having a suitable response.

Commutation is assessed by any means that the manufacturer considers reliable. If commutation is not at its limit, the values of circuit parameters shall be adjusted accordingly and the test repeated until the maximum acceptable rate of rise of current is obtained. The parameters to be changed can be either the external resistor and inductor, or alternatively the field current which can be adjusted prior to the test (see Figure 7).

### 8.4 Calculation of initial rate of change of armature current

Referring to Figure 8, the average rate of change of current  $(\Delta i / \Delta t)_{avg}$  (in per unit value) is given by:



IEC

Figure 8 – Transient build-up of armature current

$$\left(\frac{\Delta i}{\Delta t}\right)_{\text{avg}} = \frac{0,95 \times I_{a,\text{max}}}{t_{0,95} \times I_{a\text{N}}} = \frac{0,95 \times I_{a,\text{max}}}{3\tau \times I_{a\text{N}}}$$

where:

$t_{0,95} = 3\tau$  is the time taken for the armature current to increase from zero to  $0,95 I_{a,\text{max}}$

The time constant  $\tau$  is given by:

$$\tau = \frac{(L_{ac} + L_{ad})}{(R_{ac} + R_{ad})}$$

The initial rate of change of the armature current (in p.u.) is then calculated as:

$$\left.\frac{di}{dt}\right|_{t=0} = \frac{I_{a,\text{max}}}{\tau \cdot I_{a\text{N}}}$$

where

$L_{ac}$  and  $R_{ac}$  are the values of inductance and resistance, respectively, of the machine armature circuit;

$L_{ad}$  and  $R_{ad}$  are the values of inductance and resistance, respectively, connected externally across the machine terminals.

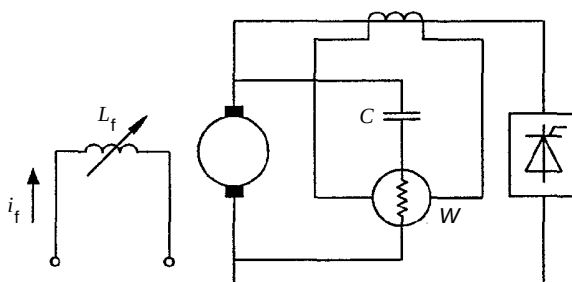
## 9 Additional losses and efficiency of rectifier-fed d.c. motors

### 9.1 General

Whenever the current ripple of the armature current exceeds 10 %, consideration shall be given to the additional losses caused by the alternating component of the armature current in addition to the losses specified in IEC 60034-2-1.

### 9.2 Measurement procedure

The motor is fed by the inverter as intended for final use. The additional losses shall be determined by a low-cosine wattmeter, the series winding of which is connected directly to the secondary winding of an air-core current transformer, and the parallel winding is connected in series with the capacitor to block the d.c. component of voltage signal. The primary winding of the air-core transformer is connected in series with the armature circuit of the motor. The measuring circuit consists of a wattmeter, an air-core transformer and a blocking capacitor, as shown in Figure 9.



IEC

Figure 9 – Test circuit for measurement of ripple losses

The instruments and components used shall be suitable for giving accurate results at least up to 360 Hz.

### 9.3 Calculation of efficiency

The efficiency of rectifier-fed d.c. motors shall be defined as:

$$\eta_{LL} = \eta \cdot \frac{P_1}{P_1 + P_{LL}}$$

where

$P_1$  is the motor input power during tests with pure d.c. supply;

$P_{LL}$  is the additional loss produced by alternating component of the armature current as measured by the wattmeter;

$\eta$  is the efficiency defined in accordance with IEC 60034-2-1 for tests with pure d.c. supply.

## 10 Determination of speed regulation

### 10.1 General

The purpose of the test is to find the variation in the motor speed as the load is decreased uniformly from rated load to no-load with constant field current. The motor may be fed from a rectifier, a d.c. bus or other d.c. source.

### 10.2 Operating conditions

It is recommended that the test be performed at operating temperature. Test points shall be taken rapidly so that the temperature of the windings does not change appreciably.

### 10.3 Test procedure

The motor shall be operated at rated armature voltage and rated field current. If a field rheostat is used in service, the rheostat is adjusted to obtain rated speed at rated armature current and voltage. It is necessary to remove and apply full load several times until consistent readings are obtained. After that the respective full load and no-load speeds may be recorded.

### 10.4 Determination of speed regulation

The speed regulation shall be determined by the following formula:

$$\Delta n = \frac{n_0 - n_N}{n_N}$$

where

$\Delta n$  is the per unit regulation;

$n_0$  is the speed at no-load;

$n_N$  is the speed at rated load.

## 11 Determination of the shunt regulation curve

### 11.1 General

The purpose of this test is to find the variation in the motor speed as the field current is decreased uniformly from a maximum value of approximately 1,5 times the rated field current to a minimum value which results in the motor operating at a speed equal to the maximum speed.

## 11.2 Operating conditions

The machine shall be operated as a motor at no-load and rated armature voltage. The test shall be performed at operating temperature. The test points shall be taken rapidly so that the temperature of the windings does not change appreciably.

The field winding circuit is preferably fed from a separate field exciter.

## 11.3 Test procedure

The field current is initially set to approximately 1,5 times the rated current and the speed is noted. The field current is then reduced in a minimum of 5 steps until the motor has reached its maximum speed. One field current value should correspond to the rated field current.

At each measured field current level, the motor speed is also recorded.

## 11.4 Shunt regulation curve

The measured speed is plotted as a function of the field current.

# 12 Determination of the magnetisation curve

## 12.1 General

The purpose of this test is to find the variation of the output voltage at rated speed and at no-load and at rated-load as the field current is varied up to approximately 150 % of the rated field current.

## 12.2 Operating conditions

The test shall be performed at operating temperature. The test points shall be taken rapidly so that the temperature of the windings does not change appreciably.

The field winding circuit shall be fed from a separate field exciter.

## 12.3 Test procedure

### 12.3.1 General

The machine shall be operated as a generator at rated speed. The test is normally performed at no-load. If the machine is designed with generator ratings, a test at rated load shall also be performed.

When the field current is changed, the current shall be either steadily increased to a maximum value or steadily decreased to a minimum value.

### 12.3.2 Test at no-load

The field current is initially set to zero. The field current is then increased in a minimum of 5 steps until it reaches a value of approximately 150 % of the rated current. Then the field current is decreased to zero using similar steps. One or two field current values shall correspond to the rated field current.

At each measured field current value, also record the armature voltage.

### **12.3.3 Test at rated load**

The field current is initially set to the rated value and then varied according to 12.3.2 within the limits imposed by the equipment under test.

### **12.4 Magnetisation curve**

The measured armature voltage (at no-load and at rated-load) is plotted as a function of the field current.

---



## SOMMAIRE

|                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| AVANT-PROPOS .....                                                                                                  | 24 |
| 1 Domaine d'application .....                                                                                       | 26 |
| 2 Références normatives .....                                                                                       | 26 |
| 3 Termes, définitions, symboles et indices .....                                                                    | 26 |
| 3.1 Termes et définitions .....                                                                                     | 26 |
| 3.2 Symboles .....                                                                                                  | 27 |
| 3.3 Indices .....                                                                                                   | 27 |
| 4 Détermination des grandeurs spécifiques de courant et de tension (alimentation par redresseur) .....              | 28 |
| 4.1 Généralités .....                                                                                               | 28 |
| 4.2 Ondulation du courant .....                                                                                     | 28 |
| 4.3 Ondulation de la tension .....                                                                                  | 28 |
| 4.4 Mesures des valeurs moyennes .....                                                                              | 28 |
| 4.5 Mesures des valeurs moyennes quadratiques .....                                                                 | 28 |
| 4.6 Calcul des facteurs d'ondulation et des facteurs de forme du courant et de la tension .....                     | 28 |
| 5 Détermination de l'inductance du circuit d'induit .....                                                           | 28 |
| 5.1 Procédure à appliquer avant de commencer les essais .....                                                       | 28 |
| 5.2 Mesure de l'inductance du circuit d'induit des machines à excitation en dérivation ou composée .....            | 29 |
| 5.3 Mesure de l'inductance du circuit d'induit d'une machine à excitation en série .....                            | 29 |
| 5.4 Calcul de l'inductance du circuit d'induit $L_a$ à partir d'une mesure directe .....                            | 29 |
| 5.5 Inductance du circuit d'induit saturé en charge .....                                                           | 29 |
| 6 Détermination de l'inductance de l'enroulement de champ en dérivation .....                                       | 30 |
| 6.1 Généralités .....                                                                                               | 30 |
| 6.2 Inductance non saturée de l'enroulement de champ en dérivation .....                                            | 30 |
| 6.3 Inductance saturée de l'enroulement de champ en dérivation .....                                                | 30 |
| 6.4 Inductance de l'enroulement de champ en dérivation en tenant compte de l'effet des courants de Foucault .....   | 31 |
| 6.5 Inductance de l'enroulement de champ en dérivation en négligeant l'effet des courants de Foucault .....         | 32 |
| 7 Détermination de la bande noire .....                                                                             | 32 |
| 7.1 Généralités .....                                                                                               | 32 |
| 7.2 Installation d'essai .....                                                                                      | 33 |
| 7.3 Procédure d'essai .....                                                                                         | 34 |
| 7.3.1 Conditions de fonctionnement .....                                                                            | 34 |
| 7.3.2 Détermination du courant minimal de l'enroulement de commutation .....                                        | 35 |
| 7.3.3 Détermination du courant maximal de l'enroulement de commutation .....                                        | 35 |
| 7.4 Calcul de la largeur de la bande noire ( $\Delta_n$ ) et de la déviation de la bande noire ( $\delta_n$ ) ..... | 35 |
| 8 Détermination de la vitesse maximale admise de variation du courant d'induit .....                                | 36 |
| 8.1 Généralités .....                                                                                               | 36 |
| 8.2 Installation d'essai .....                                                                                      | 36 |
| 8.3 Procédure d'essai .....                                                                                         | 37 |
| 8.3.1 Conditions de fonctionnement .....                                                                            | 37 |
| 8.3.2 Mesure de la montée du courant d'induit .....                                                                 | 37 |



|        |                                                                                                                      |    |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 8.4    | Calcul de la vitesse initiale de variation du courant d'induit.....                                                  | 37 |
| 9      | Pertes supplémentaires et rendement des moteurs à courant continu alimentés<br>par redresseur .....                  | 38 |
| 9.1    | Généralités .....                                                                                                    | 38 |
| 9.2    | Procédure de mesurage .....                                                                                          | 38 |
| 9.3    | Calcul du rendement .....                                                                                            | 39 |
| 10     | Détermination de la variation de vitesse .....                                                                       | 39 |
| 10.1   | Généralités .....                                                                                                    | 39 |
| 10.2   | Conditions de fonctionnement .....                                                                                   | 39 |
| 10.3   | Procédure d'essai .....                                                                                              | 39 |
| 10.4   | Détermination de la variation de vitesse.....                                                                        | 39 |
| 11     | Détermination de la courbe de variation en dérivation .....                                                          | 39 |
| 11.1   | Généralités .....                                                                                                    | 39 |
| 11.2   | Conditions de fonctionnement .....                                                                                   | 40 |
| 11.3   | Procédure d'essai .....                                                                                              | 40 |
| 11.4   | Courbe de variation en dérivation .....                                                                              | 40 |
| 12     | Détermination de la courbe d'aimantation .....                                                                       | 40 |
| 12.1   | Généralités .....                                                                                                    | 40 |
| 12.2   | Conditions de fonctionnement .....                                                                                   | 40 |
| 12.3   | Procédure d'essai .....                                                                                              | 40 |
| 12.3.1 | Généralités .....                                                                                                    | 40 |
| 12.3.2 | Essai à vide .....                                                                                                   | 40 |
| 12.3.3 | Essai à la charge assignée .....                                                                                     | 41 |
| 12.4   | Courbe d'aimantation .....                                                                                           | 41 |
|        | Figure 1 – Détermination de l'inductance du circuit d'induit saturé .....                                            | 30 |
|        | Figure 2 – Circuit d'essai pour la mesure de l'inductance saturée de l'enroulement de<br>champ en dérivation.....    | 31 |
|        | Figure 3 – Détermination de l'inductance de l'enroulement de champ .....                                             | 31 |
|        | Figure 4 – Circuit d'essai pour les essais de bande noire.....                                                       | 33 |
|        | Figure 5 – Génératrice additionnelle utilisée pour l'accroissement ou pour la réduction<br>du courant d'induit ..... | 34 |
|        | Figure 6 – Zone de bande noire pour une vitesse de rotation constante spécifiée .....                                | 35 |
|        | Figure 7 – Circuit d'essai pour la mesure de la vitesse de variation du courant d'induit.....                        | 36 |
|        | Figure 8 – Croissance transitoire du courant d'induit.....                                                           | 37 |
|        | Figure 9 – Circuit d'essai pour la mesure des pertes dues à l'ondulation .....                                       | 38 |

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

## MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

**Partie 19: Méthodes spécifiques d'essai pour machines  
à courant continu à alimentation conventionnelle ou redressée**

## AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique 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. A 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'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 60034-19 a été établie par le comité d'études 2 de l'IEC: Machines tournantes.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1995. Cette édition constitue une révision technique. Les principales modifications techniques par rapport à l'édition précédente sont les suivantes:

- a) La description de la procédure relative aux essais de bande noire a été détaillée et clarifiée.
- b) Des procédures de mesure des courbes d'aimantation dans les conditions à vide ou en charge ont été ajoutées.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

| FDIS        | Rapport de vote |
|-------------|-----------------|
| 2/1756/FDIS | 2/1764/RVD      |

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

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

NOTE Un tableau des correspondances de toutes les publications du comité d'études 2 de l'IEC peut être trouvé sur le site web de l'IEC, à la page d'accueil de ce comité.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

## MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

### Partie 19: Méthodes spécifiques d'essai pour machines à courant continu à alimentation conventionnelle ou redressée

#### 1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60034 s'applique aux machines à courant continu de puissance assignée égale ou supérieure à 1 kW, alimentées par des redresseurs, des barres omnibus pour courant continu (bus c.c.) ou d'autres sources de courant continu.

Des méthodes normalisées sont fournies pour la détermination des grandeurs caractéristiques des machines à courant continu conventionnelles et alimentées par redresseur.

Les machines à courant continu pour applications spécifiques ne relèvent pas du domaine d'application de la présente norme.

Ces méthodes complètent les exigences contenues dans l'IEC 60034-1 et l'IEC 60034-2-1.

NOTE Il n'est pas prévu que cette norme soit interprétée comme impliquant l'exécution sur une machine donnée de l'un ou de l'ensemble des essais qui y sont décrits.

#### 2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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, définitions, symboles et indices

##### 3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

###### 3.1.1

###### **ondulation du courant**

amplitude crête à crête du courant d'induit des machines à courant continu alimentées par redresseur

###### 3.1.2

###### **ondulation de la tension**

amplitude crête à crête de la tension aux bornes des machines à courant continu alimentées par redresseur

**3.1.3****constante de temps**

temps nécessaire pour atteindre 63,2 % de la valeur constante après l'application d'une entrée en échelon de courant continu, dans l'hypothèse d'un système du premier ordre

**3.1.4****zone de bande noire**

intervalle entre les limites de courant des pôles de commutation, entre lesquelles la commutation sans étincelles est obtenue pour des courants de charge allant jusqu'au courant assigné au moins

**3.1.5****sans étincelles**

absence de tout type de formation d'étincelles

**3.2 Symboles**

|            |                                                  |
|------------|--------------------------------------------------|
| $C$        | est la capacité, [F]                             |
| $f$        | est la fréquence, [Hz]                           |
| $I, i$     | est le courant, [A]                              |
| $L$        | est l'inductance, [H]                            |
| $n$        | est la vitesse, [min <sup>-1</sup> ]             |
| $P$        | est la puissance, [W]                            |
| $R$        | est la résistance de l'enroulement, [ $\Omega$ ] |
| $t$        | est le temps, [s]                                |
| $U$        | est la tension, [V]                              |
| $\Delta_n$ | est la largeur de la bande noire, [%]            |
| $\delta_n$ | est la déviation de la bande noire, [%]          |
| $\tau$     | est la constante de temps, [s]                   |
| $\theta$   | est l'angle de phase                             |

**3.3 Indices**

|          |                      |
|----------|----------------------|
| 1        | entrée               |
| 2        | sortie               |
| a        | induit               |
| b        | additionnel          |
| e        | excitatrice          |
| f        | champ                |
| LL       | perte supplémentaire |
| n        | point expérimental   |
| N        | condition assignée   |
| s        | réduction            |
| 0        | à vide               |
| $\infty$ | final                |

## **4 Détermination des grandeurs spécifiques de courant et de tension (alimentation par redresseur)**

### **4.1 Généralités**

Le but de cet essai est de déterminer les variations de la tension aux bornes et du courant d'induit pour les machines à courant continu alimentées par redresseur dans les conditions assignées.

### **4.2 Ondulation du courant**

L'ondulation du courant d'induit est mieux mesurée avec un oscilloscope qui puisse mesurer les valeurs du courant continu et alternatif. Une autre méthode consiste à utiliser un voltmètre de crête à crête indiquant la chute de tension dans une résistance non inductive connectée en série dans le circuit d'induit.

### **4.3 Ondulation de la tension**

L'ondulation de la tension peut être mesurée à l'aide d'un oscilloscope, d'un oscillographe convenable ou d'un voltmètre électronique de crête à crête avec un condensateur de blocage approprié de valeur suffisante pour ne pas affecter les indications du courant alternatif.

Il convient de noter qu'en mesurant les valeurs de crête à crête, il convient de négliger les écarts par rapport à la courbe fondamentale, dus aux pointes à haute fréquence.

### **4.4 Mesures des valeurs moyennes**

En cas de source redressée, les valeurs moyennes de courant continu du courant et de la tension d'induit peuvent être mesurées par des instruments magnétoélectriques ou d'autres instruments, y compris des instruments numériques, assurant une prise en compte correcte des valeurs moyennes.

### **4.5 Mesures des valeurs moyennes quadratiques**

Les valeurs moyennes quadratiques peuvent être mesurées par des instruments électrodynamométriques, à fer mobile ou d'autres instruments, y compris des instruments numériques assurant une prise en compte correcte des valeurs moyennes quadratiques. Les instruments à courant alternatif avec redresseurs qui ne sont sensibles qu'à une partie du signal du courant ou de la tension et les instruments dont l'étalonnage est basé sur l'hypothèse d'un signal sinusoïdal ne doivent pas être utilisés. La lecture des signaux du courant et de la tension par l'oscilloscope est recommandée.

### **4.6 Calcul des facteurs d'ondulation et des facteurs de forme du courant et de la tension**

Les facteurs d'ondulation et le facteur de forme du courant doivent être calculés en utilisant les formules de l'IEC 60034-1, en mesurant les valeurs maximale, minimale, moyenne et moyenne quadratique de la forme d'onde conformément aux spécifications de 4.2 à 4.5 de la présente partie. Le facteur d'ondulation de la tension doit être calculé de la même manière que le facteur d'ondulation du courant.

## **5 Détermination de l'inductance du circuit d'induit**

### **5.1 Procédure à appliquer avant de commencer les essais**

Il est recommandé de mesurer l'inductance du circuit d'induit par application d'un courant alternatif monophasé à 50 Hz ou 60 Hz aux bornes du circuit d'induit de la machine. Le rotor doit être bloqué afin d'empêcher le mouvement. Si le courant alternatif est limité à 20 % approximativement du courant assigné de la machine afin d'éviter le suréchauffement des

balais ou du collecteur pendant les essais de courte durée, on peut utiliser des balais de charbon normaux. Avant le début de l'essai et après la fin de l'essai, les balais doivent être complètement en contact avec la surface du collecteur et vérifiés.

En indiquant les valeurs de l'inductance, on doit indiquer si elles correspondent aux conditions saturées ou non saturées.

Mesurer et enregistrer les valeurs moyennes quadratiques de la tension  $U$ , du courant  $I$ , de la fréquence  $f$  et de l'angle de phase  $\theta$  entre la tension et le courant. L'angle de phase  $\theta$  peut être déterminé en utilisant des moyens appropriés, comme un oscilloscope ou un phasemètre ou par une méthode indirecte, par exemple à l'aide d'un wattmètre.

## **5.2 Mesure de l'inductance du circuit d'induit des machines à excitation en dérivation ou composée**

L'inductance du circuit d'induit des machines à excitation en dérivation ou composée est à mesurer pour les conditions saturée et non saturée.

Dans le cas des essais à des valeurs non saturées, l'enroulement de champ en dérivation doit être court-circuité pour éviter d'induire de hautes tensions dans l'enroulement. Dans le cas des essais à des valeurs saturées, l'enroulement de champ en dérivation est excité comme dans le cadre d'un fonctionnement en courant assigné provenant d'une source d'alimentation à courant continu dont l'ondulation en courant ne dépasse pas 6 %.

## **5.3 Mesure de l'inductance du circuit d'induit d'une machine à excitation en série**

L'essai pour une machine à excitation série est à effectuer seulement dans la condition saturée. Cet essai doit être effectué avec l'enroulement de champ en série excité séparément au courant assigné de la source de courant continu dont le facteur d'ondulation de courant est inférieur ou égal à 6 %.

L'inductance saturée déterminée de cette façon ne comprend pas l'inductance associée à l'enroulement de champ en série qui doit être déterminée comme décrit en 6.3 pour l'essai de l'enroulement de champ en dérivation à des valeurs saturées.

## **5.4 Calcul de l'inductance du circuit d'induit $L_a$ à partir d'une mesure directe**

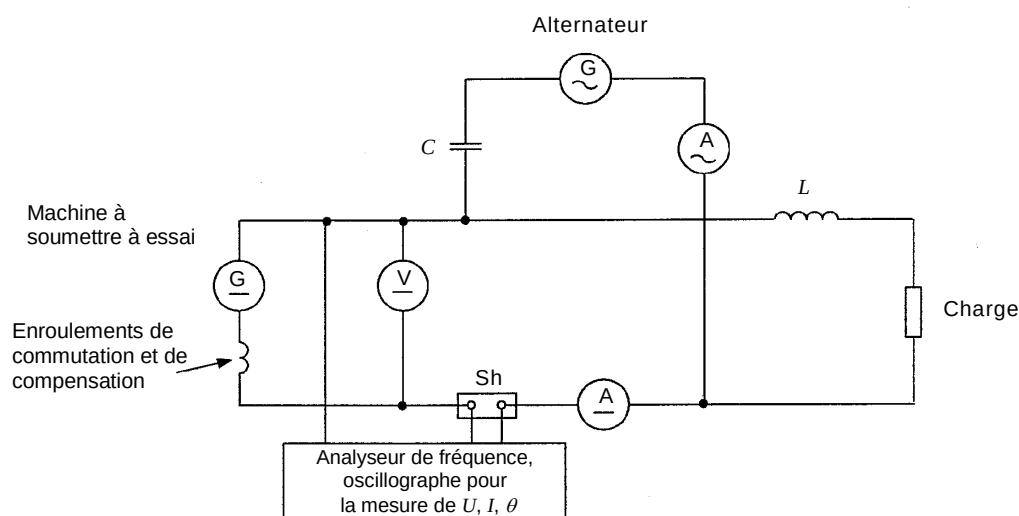
La valeur de l'inductance d'induit  $L_a$  est donnée par:

$$L_a = \frac{U \cdot \sin \theta}{2\pi \cdot f \cdot I}$$

où les valeurs de  $U$ ,  $I$ ,  $f$  et  $\theta$  sont déterminées selon 5.1.

## **5.5 Inductance du circuit d'induit saturé en charge**

Pour déterminer l'inductance du circuit d'induit saturé en charge, la machine à soumettre à essai doit fonctionner en génératrice, à environ le courant de charge spécifié et un courant alternatif d'amplitude égale à environ 20 % du courant assigné doit être superposé au courant de charge continu en utilisant un alternateur, un condensateur  $C$  et une inductance  $L$ , comme indiqué à la Figure 1.



**Figure 1 – Détermination de l'inductance du circuit d'induit saturé**

La valeur de l'inductance du circuit d'induit est calculée à partir de la même formule que celle de 5.4 en utilisant les valeurs moyennes quadratiques de la tension alternative  $U$  et du courant alternatif  $I$ .

## 6 Détermination de l'inductance de l'enroulement de champ en dérivation

### 6.1 Généralités

L'inductance de l'enroulement de champ en dérivation est à déterminer par la vitesse de montée du courant dans l'enroulement de champ en dérivation dès l'application brusque de la tension aux bornes de l'enroulement de champ en dérivation. L'inductance effective de l'enroulement de champ en dérivation est calculée à partir de la vitesse de montée du flux d'axe direct, comme déterminée par la tension d'induit apparaissant aux balais. Au cours de l'essai, la machine tourne à la vitesse assignée correspondant à la pleine excitation à circuit d'induit ouvert. L'essai est à effectuer à la fois dans les conditions saturées et non saturées.

En indiquant les valeurs de l'inductance, on doit indiquer si elles correspondent aux conditions saturées ou non saturées.

### 6.2 Inductance non saturée de l'enroulement de champ en dérivation

Pour déterminer l'inductance non saturée, l'enroulement de champ en dérivation doit être excité par une source de tension ayant une variation de moins de 2 % à la pleine excitation assignée de la machine à l'essai. La tension de l'enroulement de champ en dérivation est cyclée lentement deux fois entre la valeur créant la tension d'induit assignée et zéro, puis la tension d'induit est réduite jusqu'à environ 50 % de la tension assignée.

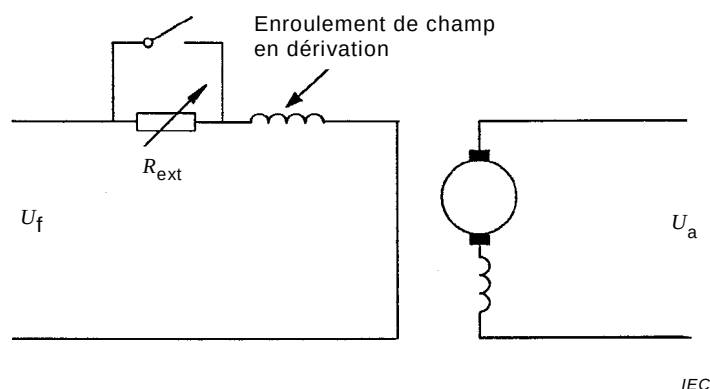
Après son enregistrement, la tension de champ en dérivation est ramenée à zéro et le circuit de champ est ouvert. Ensuite la tension de champ en dérivation est rétablie à la valeur enregistrée. Le circuit de champ en dérivation est fermé, puis la tension et le courant de champ en dérivation ainsi que la tension d'induit sont observés et enregistrés en fonction du temps.

### 6.3 Inductance saturée de l'enroulement de champ en dérivation

Pour déterminer l'inductance saturée, l'excitation de l'enroulement de champ en dérivation doit être définie (voir Figure 2) de sorte qu'une variation brusque de la tension de champ



entraîne une variation de la tension d'induit à circuit ouvert de 90 % à 110 % de la valeur assignée. Quand l'interrupteur est fermé, la tension d'alimentation de champ en dérivation  $U_f$  est réglée pour obtenir un courant de champ produisant 110 % de la tension d'induit assignée. Quand l'interrupteur est ouvert,  $R_{ext}$  (voir Figure 2) est modifié deux fois entre les valeurs produisant 90 % et 110 % de la tension d'induit assignée en terminant par la valeur de 90 %. Ensuite l'interrupteur est fermé et la tension et le courant de champ en dérivation ainsi que la tension d'induit sont enregistrés en fonction du temps.

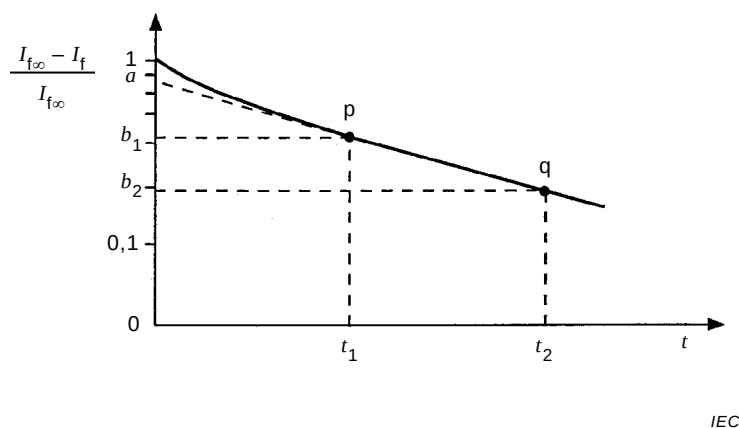


**Figure 2 – Circuit d'essai pour la mesure de l'inductance saturée de l'enroulement de champ en dérivation**

#### 6.4 Inductance de l'enroulement de champ en dérivation en tenant compte de l'effet des courants de Foucault

L'inductance de l'enroulement de champ peut être déterminée en tenant compte de l'effet des courants de Foucault dans le noyau en fer de la machine sur le courant de champ en régime transitoire.

Les valeurs de  $(I_{f\infty} - I_f)/I_{f\infty}$  en fonction du temps  $t$  sont tracées en utilisant l'échelle logarithmique pour les valeurs citées ci-dessus, où  $I_f$  est l'amplitude de variation du courant de champ après l'application brusque de la tension de champ et  $I_{f\infty}$  est la valeur finale de  $I_f$ . A la Figure 3 sont présentés deux points p et q choisis arbitrairement sur la portion rectiligne du tracé. La valeur «a» est lue en échelle logarithmique à l'intersection avec l'axe des ordonnées du prolongement de la ligne droite passant par les deux points p et q.



**Figure 3 – Détermination de l'inductance de l'enroulement de champ**

La valeur "c" doit être calculée de la façon suivante:

$$c = \frac{\log_e b_1 - \log_e b_2}{t_2 - t_1}$$

où

$b_1$  et  $b_2$  sont les valeurs de  $(I_{f\infty} - I_f)/I_{f\infty}$  respectivement aux instants  $t_1$  et  $t_2$ . La valeur de l'inductance de l'enroulement de champ est la suivante:

$$L_f = R_f \cdot \frac{a}{c}$$

où

$R_f$  est la résistance de l'enroulement de champ.

NOTE La formule de l'inductance de l'enroulement de champ est basée sur la formule approximative suivante:

$$I_f = I_{f\infty} \cdot \left(1 - \frac{\tau_f}{\tau_f + \tau_e} \cdot e^{-\frac{t}{\tau_f + \tau_e}}\right)$$

où

$\tau_f$  est la constante de temps du circuit de champ, et  $\tau_e$  la constante de temps du circuit équivalent aux courants de Foucault.

## 6.5 Inductance de l'enroulement de champ en dérivation en négligeant l'effet des courants de Foucault

Lorsque l'effet des courants de Foucault dans le noyau de fer peut être négligé, les valeurs expérimentales de l'inductance de l'enroulement de champ en dérivation doivent être évaluées à partir des formules suivantes:

$$L_f = R_f \times \tau_{fI}$$

$$L_{feff} = R_f \times \tau_{aU}$$

où

$L_f$  est l'inductance de l'enroulement de champ en dérivation;

$L_{feff}$  est la valeur efficace l'inductance de l'enroulement de champ en dérivation;

$R_f$  est la résistance en courant continu de l'enroulement de champ en dérivation mesurée juste après que l'essai a été effectué;

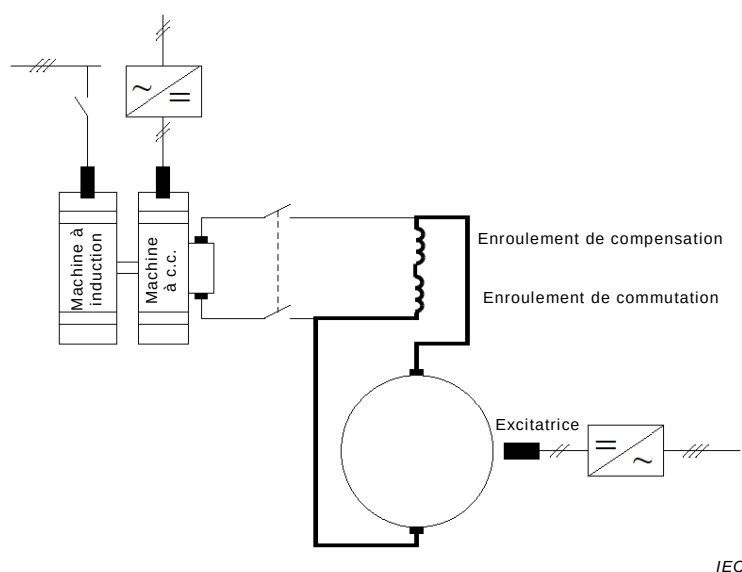
$\tau_{fI}$  est le temps d'obtention de 63,2 % de la variation du courant de champ;

$\tau_{aU}$  est le temps d'obtention de 63,2 % de la variation de la tension d'induit.

## 7 Détermination de la bande noire

### 7.1 Généralités

L'objet des essais de bande noire est de déterminer les limites relatives à la sur-ou la sous-commutation entre lesquelles la commutation sans étincelles est obtenue pour des courants de charge allant jusqu'au courant assigné au moins. Pour faire varier le champ magnétique dans l'axe transversal, un générateur supplémentaire à basse tension est connecté en parallèle avec les bornes de l'enroulement des pôles de commutation (et également de l'enroulement de compensation, le cas échéant) conformément à la Figure 4.



**Figure 4 – Circuit d'essai pour les essais de bande noire**

L'essai de bande noire est applicable à tous les types de machines ayant des pôles de commutation et doit être effectué à la vitesse assignée de base et à la vitesse assignée maximale (le cas échéant). Si possible l'essai doit être effectué avec la machine en charge. Pour les machines de puissance assignée égale ou supérieure à 500 kW, l'essai de bande noire peut être effectué en régime de générateur en court-circuit. Si l'essai est effectué sur la machine fonctionnant en moteur, celle-ci doit être alimentée par une source de courant lisse (sans ondulation).

Lorsqu'on réalise l'essai dans une condition de court-circuit, un courant de champ dont la valeur est proche de zéro doit être ajusté et vérifié en permanence pour toute l'étendue du courant d'induit jusqu'au courant assigné. Une petite augmentation du champ peut entraîner la perte de contrôle sur le courant d'induit.

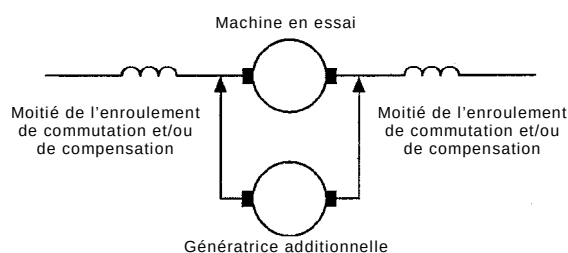
## 7.2 Installation d'essai

Pour obtenir les résultats les plus fiables, il est recommandé d'effectuer les essais sur la machine à la température normale de fonctionnement. Il est essentiel que tous les balais soient complètement en contact avec le collecteur avant le début des essais.

Il est préférable d'effectuer les essais de bande noire en utilisant une source pure de courant d'induit continu. Lorsque cela n'est pas possible, une alimentation par redresseur est à utiliser. Dans de tels cas, il peut être nécessaire d'injecter une inductance appropriée dans le circuit de l'alimentation en courant d'induit.

Si l'enroulement de commutation et l'enroulement de compensation (le cas échéant) sont connectés en série, la génératrice additionnelle doit être connectée tel qu'il est présenté à la Figure 4. La Figure 4 illustre le régime en court-circuit.

Si l'enroulement de commutation et/ou de compensation est divisé et que ses parties sont connectées à différents côtés de l'enroulement d'induit, la variation du courant de commutation se reporte sur l'enroulement d'induit. Une génératrice additionnelle est connectée directement entre les balais de la machine à l'essai, en vue de renforcer ou de réduire son courant d'induit (voir Figure 5).



IEC

**Figure 5 – Génératrice additionnelle utilisée pour l'accroissement ou pour la réduction du courant d'induit**

Si l'enroulement de commutation est connecté d'un côté de l'enroulement d'induit et l'enroulement de compensation de l'autre côté, la variation du courant des pôles de commutation s'obtient en connectant un générateur à basse tension en parallèle avec les bornes de l'enroulement de commutation. Le courant additionnel ( $I_b$ ) ou le courant réduit ( $I_s$ ) doit être remplacé par un courant équivalent ( $I_{b\text{eff}}$ ) selon la formule suivante:

$$I_{b\text{eff}} = \frac{w_z}{w_z + w_k \cdot a_z/a_k} \cdot I_b$$

où

$w_z$  est le nombre de spires d'un pôle auxiliaire;

$w_k$  est le nombre de spires de l'enroulement de compensation par pôle;

$a_z$  est le nombre de branches parallèles de l'enroulement de commutation;

$a_k$  est le nombre de branches parallèles de l'enroulement de compensation.

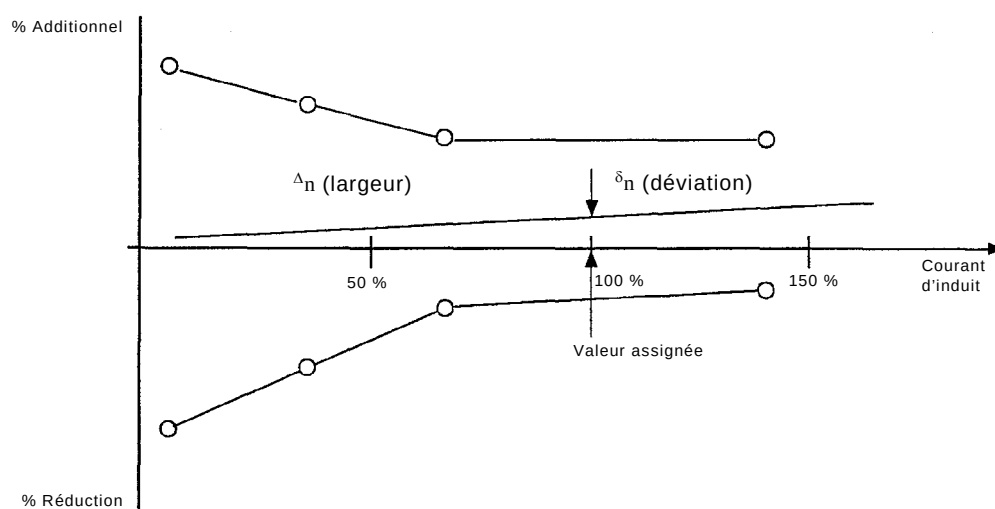
### 7.3 Procédure d'essai

#### 7.3.1 Conditions de fonctionnement

Les essais doivent être effectués à des courants d'induit de 0 % à 100 % du courant d'induit assigné.

Lorsqu'on augmente ou diminue le courant dans l'enroulement de commutation, les valeurs de la vitesse de rotation et du courant de champ doivent être maintenues constantes.

Les essais sont répétés pour d'autres valeurs du courant d'induit en vue d'obtenir d'autres lectures qui sont reportées sur la courbe en fonction du courant d'induit afin de déterminer les limites supérieure et inférieure de la bande noire (voir Figure 6).



IEC

**Figure 6 – Zone de bande noire pour une vitesse de rotation constante spécifiée**

### 7.3.2 Détermination du courant minimal de l'enroulement de commutation

Pour déterminer le courant minimal de l'enroulement de commutation pour une charge particulière, le courant est réduit de l'enroulement de commutation. Le courant réduit est augmenté jusqu'à l'apparition d'étincelles sur le collecteur, puis il est diminué progressivement jusqu'à cessation de la formation d'étincelles.

### 7.3.3 Détermination du courant maximal de l'enroulement de commutation

Pour déterminer le courant maximal de l'enroulement de commutation pour une charge particulière, le courant est augmenté dans l'enroulement de commutation. Le courant additionnel est augmenté jusqu'à l'apparition d'étincelles sur le collecteur, puis il est diminué progressivement jusqu'à cessation de la formation d'étincelles.

## 7.4 Calcul de la largeur de la bande noire ( $\Delta_n$ ) et de la déviation de la bande noire ( $\delta_n$ )

La largeur de la bande noire, en pour-cent, pour chaque point expérimental doit être exprimée de la façon suivante:

$$\Delta_n = \frac{100 \cdot (I_b - I_s)}{I_{aN}} \text{ pour cent}$$

La déviation de la bande noire, en pour cent, doit être exprimée de la façon suivante:

$$\delta_n = \frac{100 \cdot (I_b + I_s)}{2 \cdot I_{aN}} \text{ pour cent}$$

où

$I_b$  est le courant additionnel maximal (selon 7.3.3);

$I_s$  est le courant réduit maximal (selon 7.3.2);

$I_{aN}$  est le courant d'induit assigné.

Dans le cas où la moitié de la largeur de la bande noire est plus petite que sa déviation, des étincelles sont attendues.

Généralement on considère que le réglage est idéal lorsque la déviation est égale à zéro, c'est-à-dire quand l'axe horizontal se trouve au milieu des deux limites.

## 8 Détermination de la vitesse maximale admise de variation du courant d'induit

### 8.1 Généralités

La vitesse maximale admise de variation du courant d'induit doit être déterminée par rapport à la limite acceptable de commutation. Si la valeur moyenne et/ou la valeur initiale des vitesses de variation du courant d'induit font l'objet d'un accord entre constructeur et acheteur, l'essai considéré peut être effectué afin de vérifier que, aux valeurs spécifiées, la commutation n'est pas à sa limite.

### 8.2 Installation d'essai

Le circuit d'essai est présenté à la Figure 7.

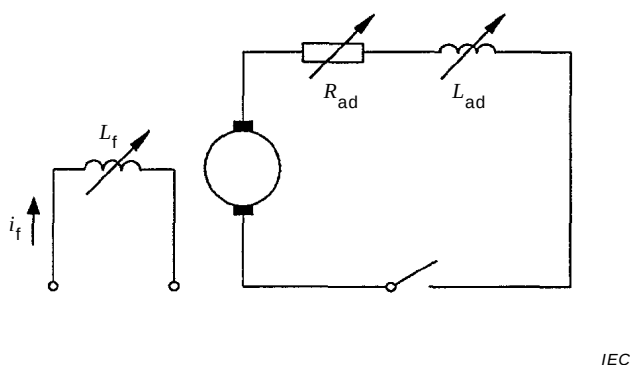


Figure 7 – Circuit d'essai pour la mesure de la vitesse de variation du courant d'induit

Pour déterminer une valeur initiale de la résistance externe  $R_{ad}$ , soit,

|                               |                                                          |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------|
| $L_{ac}$ et $R_{ac}$          | valeurs de l'inductance et de la résistance de l'induit; |
| $L_{ad}$                      | valeurs d'inductance de la bobine d'inductance externe;  |
| $(\Delta i / \Delta t)_{avg}$ | vitesse moyenne de variation du courant d'induit;        |
| $I_{aN}$                      | courant d'induit assigné;                                |
| $I_{a,max}$                   | courant d'induit de crête.                               |

La résistance externe  $R_{ad}$  peut être estimée à partir de la formule suivante:

$$R_{ad} = \frac{U_a}{I_{a,max}} - R_{ac}$$

où:

$$U_a = 3,16 \times (L_{ac} + L_{ad}) \times \left( \frac{\Delta i}{\Delta t} \right)_{avg} \times I_{aN}$$

### 8.3 Procédure d'essai

#### 8.3.1 Conditions de fonctionnement

L'essai est effectué sur la machine fonctionnant en moteur à vide, à vitesse assignée et à courant de champ constant. Les machines à excitation composée doivent avoir l'enroulement série déconnecté pendant l'essai et les machines à excitation série doivent être excitées séparément.

#### 8.3.2 Mesure de la montée du courant d'induit

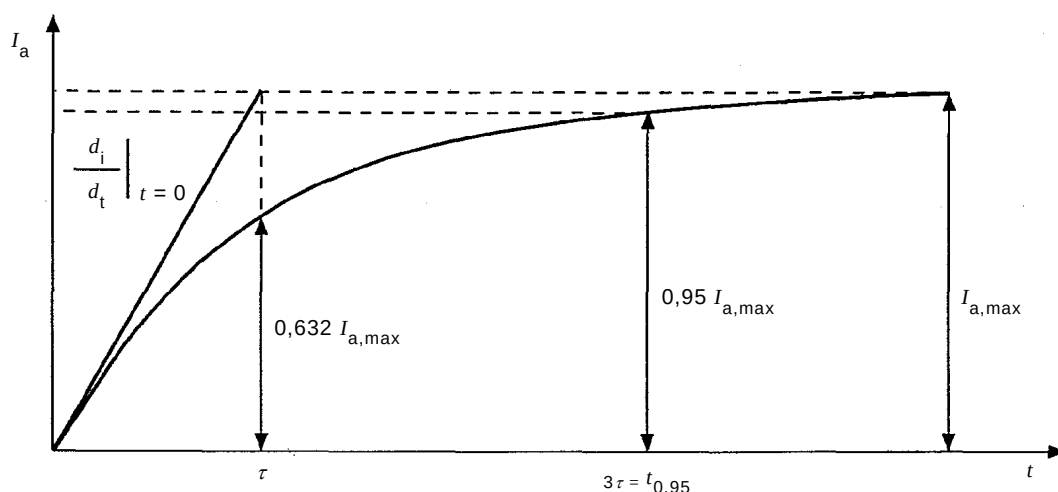
La source d'alimentation doit être déconnectée du moteur, et la résistance et la bobine d'inductance de charge doivent être connectées aux bornes.

La vitesse de montée du courant doit être enregistrée sur un oscilloscope à mémoire ou un enregistreur ayant des caractéristiques de réponse appropriées.

La commutation est évaluée par tout moyen que le constructeur considère comme fiable. Si la commutation n'est pas à sa limite, les valeurs des paramètres du circuit doivent être réglées en conséquence et l'essai répété jusqu'à ce que la vitesse maximale acceptable de montée du courant soit obtenue. Les paramètres à changer peuvent être soit la résistance et la bobine d'inductance externes, soit le courant de champ, qui peut être réglé avant l'essai (voir Figure 7).

#### 8.4 Calcul de la vitesse initiale de variation du courant d'induit

Selon la Figure 8, la vitesse moyenne de variation du courant  $(\Delta i / \Delta t)_{\text{avg}}$  (en unités relatives) est déterminée comme suit:



IEC

Figure 8 – Croissance transitoire du courant d'induit

$$\left(\frac{\Delta i}{\Delta t}\right)_{\text{avg}} = \frac{0,95 \times I_{a,max}}{T \times I_{aN}} = \frac{0,95 \times I_{a,max}}{3\tau \times I_{aN}}$$

où:

$t_{0,95} = 3\tau$  est le temps pendant lequel le courant d'induit augmente de zéro à  $0,95 I_{a,max}$

La constante de temps  $\tau$  est déterminée par la formule suivante:

$$\tau = \frac{(L_{ac} + L_{ad})}{(R_{ac} + R_{ad})}$$

La vitesse initiale de variation du courant d'induit (en unités relatives) est alors déterminée par la formule suivante:

$$\left. \frac{di}{dt} \right|_{t=0} = \frac{I_{a, \max}}{\tau \cdot I_{aN}}$$

où

$L_{ac}$  et  $R_{ac}$  sont respectivement les valeurs de l'inductance et de la résistance dans le circuit d'induit du moteur interne;

$L_{ad}$  et  $R_{ad}$  sont les valeurs de l'inductance et de la résistance connectées extérieurement aux bornes du moteur.

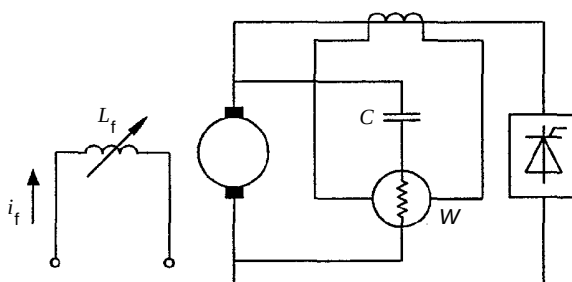
## 9 Pertes supplémentaires et rendement des moteurs à courant continu alimentés par redresseur

### 9.1 Généralités

Toutes les fois que l'ondulation du courant d'induit dépasse 10 %, les pertes supplémentaires causées par la composante alternative du courant d'induit doivent être prises en considération en complément aux pertes indiquées dans l'IEC 60034-2-1.

### 9.2 Procédure de mesurage

Le moteur est alimenté par l'onduleur comme prévu pour une utilisation finale. Les pertes supplémentaires doivent être déterminées à l'aide d'un wattmètre à faible facteur de puissance dont l'enroulement série est connecté directement à l'enroulement secondaire d'un transformateur de courant sans noyau et dont l'enroulement parallèle est connecté en série avec un condensateur destiné au blocage de la composante continue de signal de la tension. L'enroulement primaire du transformateur sans noyau est connecté en série avec le circuit d'induit du moteur. Le circuit de mesure se compose du wattmètre, du transformateur sans noyau et du condensateur de blocage, comme indiqué à la Figure 9.



IEC

**Figure 9 – Circuit d'essai pour la mesure des pertes dues à l'ondulation**

Les appareils de mesure et les composants utilisés doivent être choisis pour donner des résultats précis jusqu'à 360 Hz au moins.



### 9.3 Calcul du rendement

Le rendement du moteur à courant continu alimenté par un redresseur doit être déterminé selon la formule:

$$\eta_{LL} = \eta \cdot \frac{P_1}{P_1 + P_{LL}}$$

où

$P_1$  est la puissance d'entrée du moteur pendant les essais avec une source de courant continu pure;

$P_{LL}$  est la perte additionnelle produite par la composante alternative du courant d'induit mesurée par le wattmètre;

$\eta$  est le rendement défini conformément à l'IEC 60034-2-1 pour les essais avec une source de courant continu pure.

## 10 Détermination de la variation de vitesse

### 10.1 Généralités

L'objet de cet essai est de déterminer la variation de vitesse du moteur quand la charge diminue régulièrement depuis la charge assignée jusqu'à la marche à vide à courant de champ constant. Le moteur peut être alimenté par un redresseur, un bus c.c. ou une autre source de courant continu.

### 10.2 Conditions de fonctionnement

Il est recommandé d'effectuer l'essai à la température de fonctionnement. Les points expérimentaux doivent être relevés rapidement afin que la température des enroulements ne change pas sensiblement.

### 10.3 Procédure d'essai

Le moteur doit fonctionner à la tension d'induit assignée et au courant de champ assigné. Si on utilise un rhéostat de champ dans le circuit d'excitation, il est réglé pour obtenir la vitesse assignée au courant et à la tension d'induit assignés. Il est nécessaire de retirer et d'appliquer plusieurs fois la pleine charge jusqu'à ce qu'on obtienne des indications stables. Après cela, la vitesse de rotation peut être enregistrée à la pleine charge et à vide.

### 10.4 Détermination de la variation de vitesse

La variation de vitesse doit être déterminée conformément à la formule suivante:

$$\Delta n = \frac{n_0 - n_N}{n_N}$$

où

$\Delta n$  est la variation de vitesse par unité;

$n_0$  est la vitesse à vide;

$n_N$  est la vitesse à la charge assignée.

## 11 Détermination de la courbe de variation en dérivation

### 11.1 Généralités

Cet essai a pour objet de déterminer la variation de la vitesse du moteur quand le courant de champ diminue régulièrement depuis une valeur maximale d'environ 1,5 fois le

courant de champ assigné jusqu'à une valeur minimale qui amène le moteur à fonctionner à une vitesse égale à la vitesse maximale.

### **11.2 Conditions de fonctionnement**

La machine doit fonctionner en moteur à vide et à la tension d'induit assignée. L'essai doit être effectué à la température de fonctionnement. Les points expérimentaux doivent être relevés rapidement afin que la température des enroulements ne change pas sensiblement.

Le circuit de l'enroulement de champ est de préférence alimenté par une excitatrice de champ séparée.

### **11.3 Procédure d'essai**

Le courant de champ est au départ réglé à environ 1,5 fois le courant assigné et la vitesse est relevée. Le courant de champ est ensuite réduit de 5 pas au minimum jusqu'à ce que le moteur ait atteint sa vitesse maximale. Il convient qu'une valeur du courant de champ corresponde au courant de champ assigné.

A chaque niveau de courant de champ mesuré, la vitesse du moteur est aussi relevée.

### **11.4 Courbe de variation en dérivation**

La vitesse mesurée est tracée sous forme d'une courbe en fonction du courant de champ.

## **12 Détermination de la courbe d'aimantation**

### **12.1 Généralités**

Cet essai a pour objet de déterminer la variation de la tension de sortie à la vitesse assignée, à vide et à la charge assignée lorsqu'on fait varier le courant de champ jusqu'à environ 150 % du courant de champ assigné.

### **12.2 Conditions de fonctionnement**

L'essai doit être effectué à la température de fonctionnement. Les points expérimentaux doivent être relevés rapidement afin que la température des enroulements ne change pas sensiblement.

Le circuit de l'enroulement de champ doit être alimenté par une excitatrice de champ séparée.

### **12.3 Procédure d'essai**

#### **12.3.1 Généralités**

La machine doit fonctionner en génératrice à la vitesse assignée. L'essai est normalement effectué à vide. Si la machine est conçue avec des caractéristiques assignées d'une génératrice, un essai à la charge assignée doit également être effectué.

Lorsqu'on fait varier le courant de champ, le courant doit être augmenté de façon régulière jusqu'à une valeur maximale ou diminué de façon régulière jusqu'à une valeur minimale.

#### **12.3.2 Essai à vide**

Le courant de champ est au départ réglé à zéro. Le courant de champ est ensuite augmenté de 5 pas au minimum jusqu'à ce qu'il atteigne une valeur d'environ 150 % du courant assigné.

Ensuite le courant de champ est ramené à zéro en suivant les mêmes pas. Une ou deux valeurs du courant de champ doivent correspondre au courant de champ assigné.

A chaque valeur de courant de champ mesurée, enregistrer également la tension d'induit.

### **12.3.3 Essai à la charge assignée**

Le courant de champ est au départ réglé à la valeur assignée, puis on le fait varier selon 12.3.2 dans les limites imposées par l'appareil à l'essai.

### **12.4 Courbe d'aimantation**

La tension d'induit mesurée (à vide et à la charge assignée) est tracée sous forme d'une courbe en fonction du courant de champ.

---





INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

3, rue de Varembé  
PO Box 131  
CH-1211 Geneva 20  
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11  
Fax: + 41 22 919 03 00  
[info@iec.ch](mailto:info@iec.ch)  
[www.iec.ch](http://www.iec.ch)