

# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE



---

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

**Machines électriques tournantes –  
Partie 4-1: Méthodes pour la détermination, à partir d'essais, des grandeurs  
des machines synchrones à excitation électrique**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

---

ICS 29.160.01

ISBN 978-2-8322-5634-3

**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.....	6
1 Scope.....	8
2 Normative references .....	8
3 Terms and definitions .....	8
4 Symbols and units .....	14
5 Overview of tests.....	15
6 Test procedures .....	17
6.1 General.....	17
6.1.1 Instrumentation requirements .....	17
6.1.2 Excitation system requirements .....	18
6.1.3 Test conditions .....	18
6.1.4 Per unit base quantities .....	18
6.1.5 Conventions and assumptions .....	19
6.1.6 Consideration of magnetic saturation.....	19
6.2 Direct measurements of excitation current at rated load.....	20
6.3 Direct-current winding resistance measurements .....	21
6.4 No-load saturation test.....	21
6.4.1 Test procedure .....	21
6.4.2 No-load saturation characteristic determination .....	22
6.5 Sustained three-phase short-circuit test.....	22
6.5.1 Test procedure .....	22
6.5.2 Three-phase sustained short-circuit characteristic .....	22
6.6 Motor no-load test.....	23
6.7 Over-excitation test at zero power-factor.....	23
6.8 Negative excitation test.....	23
6.9 On-load test measuring the load angle.....	23
6.10 Low slip test.....	24
6.11 Sudden three-phase short-circuit test.....	24
6.12 Voltage recovery test .....	25
6.13 Suddenly applied short-circuit test following disconnection from line.....	25
6.14 Direct current decay test in the armature winding at standstill.....	26
6.15 Applied voltage test with the rotor in direct and quadrature axis positions.....	26
6.16 Applied voltage test with the rotor in arbitrary position .....	27
6.17 Single phase voltage test applied to the three phases.....	28
6.18 Line-to-line sustained short-circuit test.....	28
6.19 Line-to-line and to neutral sustained short-circuit test .....	28
6.20 Negative-phase sequence test .....	29
6.21 Field current decay test, with the armature winding open-circuited.....	29
6.21.1 Test at rated speed.....	29
6.21.2 Test at standstill .....	30
6.22 Applied voltage test with rotor removed .....	30
6.23 No-load retardation test .....	31
6.24 Locked rotor test.....	31
6.25 Asynchronous operation during the low-voltage test.....	31
6.26 Over-excitation test at zero power factor and variable armature voltage.....	32
6.27 Applied variable frequency voltage test at standstill .....	32

7	Determination of quantities .....	34
7.1	Analysis of recorded data.....	34
7.1.1	No-load saturation and three-phase, sustained short-circuit curves .....	34
7.1.2	Sudden three-phase short-circuit test .....	35
7.1.3	Voltage recovery test.....	38
7.1.4	Direct current decay in the armature winding at standstill .....	39
7.1.5	Suddenly applied excitation test with armature winding open-circuited.....	41
7.2	Direct-axis synchronous reactance.....	41
7.2.1	From no-load saturation and three-phase sustained short-circuit test.....	41
7.2.2	From motor no-load test .....	41
7.2.3	From on-load test measuring the load angle .....	42
7.3	Direct-axis transient reactance.....	42
7.3.1	From sudden three-phase short-circuit test.....	42
7.3.2	From voltage recovery test .....	42
7.3.3	From DC decay test in the armature winding at standstill.....	43
7.3.4	Calculation from test values.....	43
7.4	Direct-axis sub-transient reactance .....	43
7.4.1	From sudden three-phase short-circuit test.....	43
7.4.2	From voltage recovery test .....	43
7.4.3	From applied voltage test with the rotor in direct and quadrature axis .....	43
7.4.4	From applied voltage test with the rotor in arbitrary position .....	44
7.5	Quadrature-axis synchronous reactance .....	44
7.5.1	From negative excitation test.....	44
7.5.2	From low slip test .....	45
7.5.3	From on-load test measuring the load angle .....	46
7.6	Quadrature-axis transient reactance .....	47
7.6.1	From direct current decay test in the armature winding at standstill .....	47
7.6.2	Calculation from test values.....	47
7.7	Quadrature-axis sub-transient reactance.....	47
7.7.1	From applied voltage test with the rotor in direct and quadrature position.....	47
7.7.2	From applied voltage test with the rotor in arbitrary position .....	47
7.8	Zero-sequence reactance .....	48
7.8.1	From single-phase voltage application to the three phases .....	48
7.8.2	From line-to-line and to neutral sustained short-circuit test.....	48
7.9	Negative-sequence reactance .....	48
7.9.1	From line-to-line sustained short-circuit test .....	48
7.9.2	From negative-phase sequence test .....	49
7.9.3	Calculation from test values.....	49
7.9.4	From direct-current decay test at standstill .....	49
7.10	Armature leakage reactance .....	50
7.11	Potier reactance.....	50
7.12	Zero-sequence resistance.....	51
7.12.1	From single-phase voltage test applied to the three phases .....	51
7.12.2	From line-to-line and to neutral sustained short-circuit test.....	51
7.13	Positive-sequence armature winding resistance .....	52
7.14	Negative-sequence resistance .....	52
7.14.1	From line-to-line sustained short-circuit test .....	52
7.14.2	From negative-phase sequence test .....	52

7.15	Armature and excitation winding resistance .....	52
7.16	Direct-axis transient short-circuit time constant .....	53
7.16.1	From sudden three-phase short-circuit test .....	53
7.16.2	From direct current decay test at standstill .....	53
7.17	Direct-axis transient open-circuit time constant .....	53
7.17.1	From field current decay at rated speed with armature winding open .....	53
7.17.2	From field current decay test at standstill with armature winding open .....	53
7.17.3	From voltage recovery test .....	54
7.17.4	From direct-current decay test at standstill .....	54
7.18	Direct-axis sub-transient short-circuit time constant .....	54
7.19	Direct-axis sub-transient open-circuit time constant .....	54
7.19.1	From voltage recovery test .....	54
7.19.2	From direct-current decay test at standstill .....	54
7.20	Quadrature-axis transient short-circuit time constant .....	54
7.20.1	Calculation from test values .....	54
7.20.2	From direct-current decay test at standstill .....	54
7.21	Quadrature-axis transient open-circuit time constant .....	54
7.22	Quadrature-axis sub-transient short-circuit time constant .....	54
7.22.1	Calculation from test values .....	54
7.22.2	Determination from direct-current decay test at standstill .....	55
7.23	Quadrature-axis sub-transient open-circuit time constant .....	55
7.24	Armature short-circuit time constant .....	55
7.24.1	From sudden three-phase short-circuit test .....	55
7.24.2	Calculation from test values .....	55
7.25	Rated acceleration time and stored energy constant .....	55
7.26	Rated excitation current .....	56
7.26.1	From direct measurement .....	56
7.26.2	Potier diagram .....	56
7.26.3	ASA diagram .....	57
7.26.4	Swedish diagram .....	58
7.27	Excitation current referred to rated armature sustained short-circuit current .....	59
7.27.1	From sustained three-phase short-circuit test .....	59
7.27.2	From over-excitation test at zero power factor .....	59
7.28	Frequency response characteristics .....	60
7.28.1	General .....	60
7.28.2	From asynchronous operation at reduced voltage .....	61
7.28.3	From applied variable frequency voltage test at standstill .....	61
7.28.4	From direct current decay test in the armature winding at standstill .....	63
7.29	Short-circuit ratio .....	63
7.30	Rated voltage regulation .....	63
7.30.1	From direct measurement .....	63
7.30.2	From no-load saturation characteristic and known field current at rated load .....	63
7.31	Initial starting impedance of synchronous motors .....	64
Annex A (informative)	Testing cross-reference .....	65
Annex B (informative)	Calculation scheme for frequency response characteristics .....	68
B.1	Basics .....	68
B.2	Parameter calculation .....	68
Annex C (informative)	Conventional electrical machine model .....	70

Bibliography.....	72
Figure 1 – Schematic for DC decay test at standstill .....	26
Figure 2 – Circuit diagram for line-to-line short-circuit test .....	28
Figure 3 – Circuit diagram for line-to-line and to neutral sustained short-circuit test.....	29
Figure 4 – Search coil installation with rotor removed .....	30
Figure 5 – Power and current versus slip (example).....	32
Figure 6 – Schematic for variable frequency test at standstill .....	33
Figure 7 – Recorded quantities from variable frequency test at standstill (example).....	34
Figure 8 – Combined saturation and short-circuit curves.....	35
Figure 9 – Determination of intermediate points on the envelopes.....	35
Figure 10 – Determination of transient component of short-circuit current .....	37
Figure 11 – Determination of sub-transient component of short-circuit current .....	37
Figure 12 – Transient and sub-transient component of recovery voltage .....	39
Figure 13 – Semi-logarithmic plot of decay currents.....	40
Figure 14 – Suddenly applied excitation with armature winding open-circuited .....	41
Figure 15 – No-load e.m.f. and excitation current for one pole-pitch slip .....	45
Figure 16 – Current envelope from low-slip test .....	46
Figure 17 – Determination of Potier reactance .....	51
Figure 18 – Potier's diagram .....	56
Figure 19 – ASA diagram .....	57
Figure 20 – Swedish diagram.....	58
Figure 21 – Excitation current from over-excitation test at zero power factor.....	60
Figure 22 – Frequency response characteristics at low frequencies (example).....	61
Figure C.1 – Equivalent circuit model of a salient pole machine .....	70
Table 1 – Test methods and cross-reference table.....	15
Table A.1 – Test cross-reference .....	65

# INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

---

## ROTATING ELECTRICAL MACHINES –

### Part 4-1: Methods for determining electrically excited synchronous machine quantities from tests

#### 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 60034-4-1 has been prepared by IEC technical committee 2: Rotating machinery.

IEC 60034-4-1 first edition cancels and replaces the third edition of IEC 60034-4 published in 2008. This edition constitutes a technical revision.

This publication includes the following significant technical changes with respect to IEC 60034-4 edition 3:

- a) improvement of several procedures with respect to evaluation of quantities;
- b) deletion of uncommon procedures;
- c) applicability of procedures for permanent magnet machines.

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

CDV	Report on voting
2/1829/CDV	2/1869/RVC

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

This document 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 document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific document. At this date, the document will be

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

**IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.**

## ROTATING ELECTRICAL MACHINES –

### Part 4-1: Methods for determining electrically excited synchronous machine quantities from tests

#### 1 Scope

This part of IEC 60034 applies to three-phase synchronous machines of 1 kVA rating and larger.

Most of the methods are intended to be used for machines having an excitation winding with slip-rings and brushes for their supply. Synchronous machines with brushless excitation require special effort for some of the tests. For machines with permanent magnet excitation, there is a limited applicability of the described tests, and special precautions should be taken against irreversible demagnetization.

Excluded are axial-field machines and special synchronous machines such as inductor type machines, transversal flux machines and reluctance machines.

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

#### 2 Normative references

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

IEC 60034-1:2017, *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)*

IEC 60051 (all parts), *Direct acting indicating analogue electrical measuring instruments and their accessories*



## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS .....	79
1 Domaine d'application .....	81
2 Références normatives .....	81
3 Termes et définitions .....	81
4 Symboles et unités .....	87
5 Vue d'ensemble des essais .....	88
6 Procédures d'essai .....	90
6.1 Généralités .....	90
6.1.1 Exigences relatives aux appareils de mesure.....	90
6.1.2 Exigences relatives au système d'excitation .....	91
6.1.3 Conditions d'essai .....	91
6.1.4 Grandeurs en valeurs réduites.....	91
6.1.5 Conventions et hypothèses.....	92
6.1.6 Examen de la saturation magnétique .....	93
6.2 Mesures directes du courant d'excitation à la charge assignée .....	94
6.3 Mesures de la résistance en courant continu d'un enroulement.....	94
6.4 Essai de saturation à vide .....	94
6.4.1 Procédure d'essai .....	94
6.4.2 Détermination de la caractéristique de saturation à vide .....	95
6.5 Essai en court-circuit triphasé permanent .....	95
6.5.1 Procédure d'essai .....	95
6.5.2 Caractéristique en court-circuit triphasé permanent .....	96
6.6 Essai de moteur à vide .....	96
6.7 Essai de surexcitation au facteur de puissance nul .....	96
6.8 Essai d'excitation négative.....	97
6.9 Essai en charge avec mesure de l'angle de charge .....	97
6.10 Essai à faible glissement .....	97
6.11 Essai de court-circuit triphasé brusque .....	98
6.12 Essai de rétablissement de la tension .....	99
6.13 Essai de court-circuit brusque après déconnexion de la ligne .....	99
6.14 Essai de la décroissance du courant dans l'enroulement d'induit à l'arrêt .....	99
6.15 Essai d'application de tension pour les positions longitudinale et transversale des pôles du rotor .....	100
6.16 Essai d'application de tension avec le rotor en position arbitraire.....	101
6.17 Essai de tension monophasée appliquée aux trois phases .....	102
6.18 Essai de court-circuit permanent entre phases.....	102
6.19 Essai de court-circuit permanent entre phases et le neutre .....	102
6.20 Essai de rotation inverse.....	103
6.21 Essai de la décroissance du courant d'excitation, avec l'enroulement d'induit en circuit ouvert .....	103
6.21.1 Essai à la vitesse assignée.....	103
6.21.2 Essai à l'arrêt .....	104
6.22 Essai d'application de tension le rotor étant retiré .....	104
6.23 Essai de ralentissement à vide.....	105

6.24	Essai à rotor bloqué.....	105
6.25	Fonctionnement asynchrone pendant l'essai à basse tension.....	106
6.26	Essai de surexcitation au facteur de puissance nul et à tension d'induit variable.....	106
6.27	Essai d'application de tension à fréquence variable à l'arrêt .....	107
7	Détermination des grandeurs .....	108
7.1	Analyse des données enregistrées.....	108
7.1.1	Courbes de saturation à vide et de court-circuit triphasé permanent .....	108
7.1.2	Essai de court-circuit triphasé brusque .....	109
7.1.3	Essai de rétablissement de la tension.....	112
7.1.4	Décroissance du courant dans l'enroulement d'induit à l'arrêt.....	113
7.1.5	Essai d'application brusque de l'excitation avec l'enroulement d'induit à circuit ouvert.....	115
7.2	Réactance synchrone longitudinale.....	115
7.2.1	À partir de l'essai des valeurs de saturation à vide et de court-circuit triphasé permanent.....	115
7.2.2	À partir de l'essai de moteur à vide.....	116
7.2.3	À partir de l'essai en charge avec mesure de l'angle de charge .....	116
7.3	Réactance transitoire longitudinale .....	116
7.3.1	À partir de l'essai de court-circuit triphasé brusque.....	116
7.3.2	À partir de l'essai de rétablissement de la tension .....	117
7.3.3	À partir de l'essai de la décroissance du courant dans l'enroulement d'induit à l'arrêt.....	117
7.3.4	Calcul à partir des valeurs d'essai .....	117
7.4	Réactance subtransitoire longitudinale.....	117
7.4.1	À partir de l'essai de court-circuit triphasé brusque.....	117
7.4.2	À partir de l'essai de rétablissement de la tension .....	117
7.4.3	À partir de l'essai d'application de tension avec rotor longitudinal et transversal.....	118
7.4.4	À partir de l'essai d'application de tension dans une position arbitraire du rotor.....	118
7.5	Réactance synchrone transversale .....	118
7.5.1	À partir de l'essai d'excitation négative.....	118
7.5.2	À partir de l'essai à faible glissement.....	119
7.5.3	À partir de l'essai en charge avec mesure de l'angle de charge .....	120
7.6	Réactance transitoire transversale .....	121
7.6.1	À partir de l'essai de la décroissance du courant dans l'enroulement d'induit, à l'arrêt.....	121
7.6.2	Calcul à partir des valeurs d'essai .....	121
7.7	Réactance subtransitoire transversale .....	121
7.7.1	À partir de l'essai d'application de tension avec rotor en position longitudinale ou transversale .....	121
7.7.2	À partir de l'essai d'application de tension dans une position arbitraire du rotor.....	121
7.8	Réactance homopolaire .....	122
7.8.1	À partir de l'application de tension monophasée aux trois phases.....	122
7.8.2	À partir de l'essai de court-circuit permanent entre phases et le neutre .....	122

7.9	Réactance inverse .....	122
7.9.1	À partir de l'essai de court-circuit permanent entre phases .....	122
7.9.2	À partir de l'essai de rotation inverse .....	123
7.9.3	Calcul à partir des valeurs d'essai .....	123
7.9.4	À partir de l'essai de la décroissance du courant à l'arrêt .....	123
7.10	Réactance de fuite d'induit .....	124
7.11	Réactance de Potier .....	124
7.12	Résistance homopolaire .....	125
7.12.1	À partir de l'essai de tension monophasée appliquée aux trois phases .....	125
7.12.2	À partir de l'essai de court-circuit permanent entre phases et le neutre .....	125
7.13	Résistance de l'enroulement d'induit directe .....	126
7.14	Résistance inverse .....	126
7.14.1	À partir de l'essai de court-circuit permanent entre phases .....	126
7.14.2	À partir de l'essai de rotation inverse .....	126
7.15	Résistance de l'enroulement d'induit et de l'enroulement d'excitation .....	127
7.16	Constante de temps transitoire longitudinale en court-circuit .....	127
7.16.1	À partir de l'essai de court-circuit triphasé brusque .....	127
7.16.2	À partir de l'essai de la décroissance du courant à l'arrêt .....	127
7.17	Constante de temps transitoire longitudinale à circuit ouvert .....	127
7.17.1	À partir de la décroissance du courant d'excitation à la vitesse assignée avec enroulement d'induit en circuit ouvert .....	127
7.17.2	À partir de l'essai de la décroissance du courant d'excitation à l'arrêt avec enroulement d'induit en circuit ouvert .....	128
7.17.3	À partir de l'essai de rétablissement de la tension .....	128
7.17.4	À partir de l'essai de la décroissance du courant à l'arrêt .....	128
7.18	Constante de temps subtransitoire longitudinale en court-circuit .....	128
7.19	Constante de temps subtransitoire longitudinale à circuit ouvert .....	128
7.19.1	À partir de l'essai de rétablissement de la tension .....	128
7.19.2	À partir de l'essai de la décroissance du courant à l'arrêt .....	128
7.20	Constante de temps transitoire transversale en court-circuit .....	128
7.20.1	Calcul à partir des valeurs d'essai .....	128
7.20.2	À partir de l'essai de la décroissance du courant à l'arrêt .....	128
7.21	Constante de temps transitoire transversale à circuit ouvert .....	128
7.22	Constante de temps subtransitoire transversale en court-circuit .....	129
7.22.1	Calcul à partir des valeurs d'essai .....	129
7.22.2	À partir de l'essai de la décroissance du courant à l'arrêt .....	129
7.23	Constante de temps subtransitoire transversale à circuit ouvert .....	129
7.24	Constante de temps en court-circuit de l'induit .....	129
7.24.1	À partir de l'essai du court-circuit triphasé brusque .....	129
7.24.2	Calcul à partir des valeurs d'essai .....	129
7.25	Valeur assignée des constantes de temps d'accélération et des constantes d'énergie cinétique .....	130
7.26	Courant d'excitation assigné .....	130
7.26.1	À partir de mesures directes .....	130
7.26.2	Diagramme de Potier .....	130
7.26.3	Diagramme ASA .....	132
7.26.4	Diagramme suédois .....	133

7.27	Courant d'excitation correspondant au courant d'induit assigné en court-circuit permanent .....	134
7.27.1	À partir de l'essai de court-circuit triphasé permanent.....	134
7.27.2	À partir de l'essai de surexcitation au facteur de puissance nul .....	134
7.28	Caractéristiques de réponse en fréquence .....	134
7.28.1	Généralités .....	134
7.28.2	À partir du fonctionnement asynchrone à tension réduite .....	135
7.28.3	À partir de l'essai d'application à l'arrêt d'une tension de fréquence variable .....	136
7.28.4	À partir de l'essai de la décroissance du courant dans l'enroulement d'induit, à l'arrêt.....	137
7.29	Rapport de court-circuit.....	138
7.30	Variation de tension assignée .....	138
7.30.1	À partir de mesures directes .....	138
7.30.2	À partir de la caractéristique de saturation à vide et du courant d'excitation connu à la charge assignée .....	138
7.31	Impédance de démarrage initiale des moteurs synchrones .....	138
Annexe A (informative) Correspondance pour les essais.....		140
Annexe B (informative) Système de calcul des caractéristiques de réponse en fréquence .....		143
B.1	Bases .....	143
B.2	Calcul des paramètres .....	143
Annexe C (informative) Modèle conventionnel de machine électrique .....		145
Bibliographie.....		147
Figure 1	– Schéma pour l'essai de la décroissance du courant à l'arrêt .....	100
Figure 2	– Schéma de circuit pour l'essai de court-circuit entre phases.....	102
Figure 3	– Schéma de circuit pour l'essai de court-circuit permanent entre phases et le neutre .....	103
Figure 4	– Installation de la bobine d'exploration le rotor étant retiré .....	104
Figure 5	– Puissance et courant en fonction du glissement (exemple).....	106
Figure 6	– Schéma pour l'essai à fréquence variable à l'arrêt .....	107
Figure 7	– Grandeurs enregistrées au cours de l'essai à fréquence variable à l'arrêt (exemple) .....	108
Figure 8	– Courbes combinées de saturation et de court-circuit .....	109
Figure 9	– Détermination des points intermédiaires sur les enveloppes.....	109
Figure 10	– Détermination de la composante transitoire du courant de court-circuit .....	111
Figure 11	– Détermination de la composante subtransitoire du courant de court-circuit.....	111
Figure 12	– Composantes transitoire et subtransitoire de la tension de rétablissement .....	113
Figure 13	– Représentation graphique semi-logarithmique des courants décroissants .....	114
Figure 14	– Application brusque de l'excitation avec enroulement d'induit en circuit ouvert .....	115
Figure 15	– F.é.m à vide et courant d'excitation pour glissement d'un pas polaire.....	119
Figure 16	– Enveloppe du courant à partir de l'essai à faible glissement.....	120
Figure 17	– Détermination de la réactance de Potier.....	125
Figure 18	– Diagramme de Potier .....	131
Figure 19	– Diagramme ASA.....	132

Figure 20 – Diagramme suédois .....	133
Figure 21 – Courant d'excitation à partir de l'essai de surexcitation au facteur de puissance nul.....	134
Figure 22 – Caractéristiques de réponse en fréquence à basses fréquences (exemple).....	136
Figure C.1 – Modèle de circuit équivalent d'une machine à pôles saillants.....	145
Tableau 1 – Tableau des méthodes d'essai et des correspondances .....	88
Tableau A.1 – Correspondance pour les essais .....	140

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

## MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

**Partie 4-1: Méthodes pour la détermination, à partir d'essais,  
des grandeurs des machines synchrones à excitation électrique**

## AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Électrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. À cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'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 60034-4-1 a été établie par le comité d'études 2 de l'IEC: Machines tournantes.

La première édition de l'IEC 60034-4-1 annule et remplace la troisième édition de l'IEC 60034-4 parue en 2008. Cette édition constitue une révision technique.

Cette publication inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'IEC 60034-4 édition 3:

- a) amélioration de plusieurs procédures quant aux évaluations des grandeurs;
- b) suppression des procédures exceptionnelles;
- c) applicabilité des procédures des machines à aimants permanents.

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

CDV	Rapport de vote
2/1829/CDV	2/1869/RVC

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

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

NOTE Le tableau de bord du CE 2 de l'IEC sur le site web de l'IEC donne un tableau des correspondances de toutes les publications du CE 2 de l'IEC.

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

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

**IMPORTANT – Le logo "*colour inside*" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.**

## MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

### Partie 4-1: Méthodes pour la détermination, à partir d'essais, des grandeurs des machines synchrones à excitation électrique

#### 1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60034 est applicable aux machines synchrones triphasées dont la puissance assignée est supérieure ou égale à 1 kVA.

La plupart des méthodes sont destinées à être utilisées avec des machines ayant un enroulement d'excitation avec des bagues collectrices et des balais pour leur alimentation. Les machines synchrones sans balai d'excitation exigent un investissement particulier pour certains des essais. Pour les machines dont l'excitation est assurée par des aimants permanents, les essais décrits ont une applicabilité limitée et il convient de prendre des précautions particulières contre une démagnétisation irréversible.

Les machines à champ axial et les machines synchrones de type particulier comme les machines de type magnéto, les machines à flux transversal et les machines à réluctance variable sont exclues.

Le présent document n'a pas pour objet de nécessiter la réalisation d'un ou de tous les essais qu'il décrit sur une machine quelconque. Les essais particuliers à réaliser font l'objet d'un accord entre le constructeur et le client.

#### 2 Références normatives

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

IEC 60034-1:2017, *Machine 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)*

IEC 60051 (toutes les parties), *Appareils de mesure électriques indicateurs analogiques à action directe et leurs accessoires*