IEC 60034-28

Edition 2.0 2012-12

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

colour inside

Rotating electrical machines – Part 28: Test methods for determining quantities of equivalent circuit diagrams for three-phase low-voltage cage induction motors

Machines électriques tournantes – Partie 28: Méthodes d'essai pour la détermination des grandeurs des schémas d'équivalence des circuits pour moteurs à induction à cage basse tension triphasés

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX U

ICS 29.160

ISBN 978-2-83220-553-2

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.

® Registered trademark of the International Electrotechnical Commission
Marque déposée de la Commission Electrotechnique Internationale

CONTENTS

FOREWORD 4
INTRODUCTION 6
1 Scope 7
2 Normative references 7
3 Terms, definitions, symbols and conventions 7
3.1 Terms and definitions 7
3.2 Symbols 8
3.3 Subscripts 9
3.4 Winding connection 9
4 Test requirements 10
4.1 General 10
4.2 Frequency and voltage 10
4.3 Instrumentation 10
4.3.1 Measuring instruments for electrical quantities, speed and frequency 10
4.3.2 Instrument transformers 10
4.3.3 Temperature measurement 10
5 Approximations and uncertainties 10
6 Test procedures 11
6.1 General 11
6.2 Stator d.c. line-to-line resistance measurement 11
6.3 Load-test at rated load 11
6.4 Load curve test 12
6.5 No-load test 12
6.6 Reverse rotation and locked rotor tests 13
6.6.1 General 13
6.6.2 Reverse rotation test 13
6.6.3 Locked rotor test 13
7 Determination of motor quantities 13
7.1 General 13
7.2 Resistance of stator winding R_s 15
7.3 Total stator inductance $L_{ts} = L_m + L_{\sigma s}$ 15
7.3.1 General 15
7.3.2 Determination procedure 15
7.4 Equivalent resistance of iron losses $R_{fe\Gamma}$ 16
7.4.1 Constant losses 16
7.4.2 Friction and windage losses 17
7.4.3 Iron losses 17
7.5 Total leakage inductance $L_{t\sigma}$ 18
7.5.1 General 18
7.5.2 Distribution of leakage inductances between stator and rotor 18
7.5.3 Determination of total leakage inductance from a reverse rotation or locked rotor test (6.6) 18
7.5.4 Determination of total leakage inductance from a load curve test (6.4) 20
7.6 Magnetizing inductance L_m and voltage U_m 21
7.6.1 From a reverse rotation or locked rotor test (6.6) 21
7.6.2 From a load curve test (6.4) 21

7.7 Stator and rotor leakage inductances $L_{\sigma s}$ and $L_{\sigma r}$'.....22
7.7.1 From a reverse rotation or locked rotor test (6.6).....22
7.7.2 From a load curve test (6.4).....22
7.8 Inductances for calculations at constant flux (rated load).....22
7.9 Resistance of rotor cage R_r' referred to the stator winding and frequency.....23
7.10 Equivalent resistance of iron losses R_{fe}.....25
Annex A (informative) Sample calculation.....26

Figure 1 – Type-T equivalent circuit diagram.....14
Figure 2 – Type-T equivalent circuit diagram (iron losses disregarded).....14
Figure 3 – Type-L equivalent circuit diagram (iron losses disregarded).....14
Figure 4 – Type-Γ equivalent circuit diagram.....15
Figure 5 – Typical characteristics of inductance L over current I.....16

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ROTATING ELECTRICAL MACHINES –

Part 28: Test methods for determining quantities of equivalent circuit diagrams for three-phase low-voltage cage induction motors

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 60034-28 has been prepared by IEC technical committee 2: Rotating machinery.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2007. This edition constitutes a technical revision.

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

a) The formulae are now all given for equivalent star-connection equivalent circuit diagrams. They are applied even in the case of delta connected windings. All formulae for delta-connected equivalent circuit diagrams have been moved to notes.
b) Procedures for the determination of equivalent circuit parameters from a load curve test as an alternative to the reverse rotation and locked rotor tests have been added.

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

FDIS	Report on voting
2/1685/FDIS	2/1688/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 in 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.

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.

INTRODUCTION

Equivalent circuits are widely used in the control of adjustable speed drives with induction motors supplied by frequency inverters. The motor parameters are required for the realisation of flux oriented control or other model-based control algorithms. Their knowledge is required by suppliers and system engineers, especially when motors and frequency inverters from different suppliers are combined.

This standard provides a standardized test procedure to determine the electric motor parameters. At the same time the draft offers an improved understanding of the equivalent circuit method. The procedures can be carried out in laboratories equipped for standard electric machinery tests.

NOTE This standard's main purpose is for assistance in modelling frequency controlled motors. Due to the simplifications the results cannot be used to determine motor performance or efficiency accurately.

A related technical specification is IEC/TS 60034-25 where required motor parameters are listed, but their definition and methods of determination are not included.

ROTATING ELECTRICAL MACHINES –

Part 28: Test methods for determining quantities of equivalent circuit diagrams for three-phase low-voltage cage induction motors

1 Scope

This part of the IEC 60034 series applies to three-phase low-voltage cage induction motors of frame numbers 56 to 400 as specified in IEC 60072-1.

This standard establishes procedures to obtain values for elements of single phase equivalent circuit diagrams from tests and defines standard elements of these diagrams.

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 60034-1:2010, *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 60034-2-2, *Rotating electrical machines – Part 2-2: Specific methods for determining separate losses of large machines from tests – Supplement to IEC 60034-2-1*

IEC 60034-2-3[1], *Rotating electrical machines – Part 2-3: Specific test methods for determining losses and efficiency of converter-fed AC motors*

IEC/TS 60034-25[2], *Rotating electrical machines – Part 25: A.C. Motors when used in power drive systems - Application guide*

IEC 60044 (all parts), *Instrument transformers*

IEC 60051-1, *Direct acting indicating analogue electrical measuring instruments and their accessories – Part 1: Definitions and general requirements common to all parts*

IEC 60072-1, *Dimensions and output series for rotating electrical machines – Part 1: Frame numbers 56 to 400 and flange numbers 55 to 1080*

---

1 To be published.

2 A revision of this publication is currently under preparation.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 32
INTRODUCTION 34
1 Domaine d'application 35
2 Références normatives 35
3 Termes, définitions,symboles et conventions 36
3.1 Termes et définitions 36
3.2 Symboles 36
3.3 Indices 37
3.4 Couplage des enroulements 38
4 Exigences d'essai 38
4.1 Généralités 38
4.2 Fréquence et tension 38
4.3 Instrumentation 38
4.3.1 Appareils de mesure pour les grandeurs électriques, la vitesse et la fréquence 38
4.3.2 Transformateurs de mesure 38
4.3.3 Mesure de la température 38
5 Approximations et incertitudes 38
6 Procédures d'essai 39
6.1 Généralités 39
6.2 Mesure de la résistance entre lignes à courant continu du stator 39
6.3 Essai de charge à la charge assignée 40
6.4 Essai de la courbe de charge 40
6.5 Essai à vide 40
6.6 Essais de rotation inverse et à rotor bloqué 41
6.6.1 Généralités 41
6.6.2 Essai de rotation inverse 41
6.6.3 Essai à rotor bloqué 42
7 Détermination des grandeurs de moteurs 42
7.1 Généralités 42
7.2 Résistance de l'enroulement du stator R_s 44
7.3 Inductance du stator totale $L_{ts} = L_m + L_{\sigma s}$ 44
7.3.1 Généralités 44
7.3.2 Procédure de détermination 44
7.4 Résistance équivalente de pertes dans le fer $R_{fe\Gamma}$ 45
7.4.1 Pertes constantes 45
7.4.2 Pertes par frottement et par ventilation 46
7.4.3 Pertes fer 46
7.5 Inductance de fuite totale $L_{t\sigma}$ 46
7.5.1 Généralités 46
7.5.2 Répartition des inductances de fuite entre stator et rotor 47
7.5.3 Détermination de l'inductance de fuite totale à partir d'un essai de rotation inverse ou à partir d'un essai à rotor bloqué (6.6) 47
7.5.4 Détermination de l'inductance de fuite totale à partir d'un essai de la courbe de charge (6.4) 49
7.6 Inductance de magnétisation L_m et tension U_m 50

7.6.1 A partir d'un essai en rotation inverse ou d'un essai à rotor bloqué (6.6) 50
7.6.2 A partir de l'essai de la courbe de charge (6.4) 50
7.7 Inductances de fuite du stator et du rotor $L_{\sigma s}$ et $L_{\sigma r}'$ 51
7.7.1 A partir d'un essai en rotation inverse ou d'un essai à rotor bloqué (6.6) 51
7.7.2 A partir de l'essai de la courbe de charge (6.4) 51
7.8 Inductances pour calculs à flux constant (charge assignée) 51
7.9 Résistance de la cage du rotor R_r' en référence à l'enroulement du stator et à la fréquence 52
7.10 Résistance équivalente de pertes dans le fer R_{fe} 54
Annexe A (informative) Calcul d'échantillons 55

Figure 1 – Schéma des circuits équivalents de type T 42
Figure 2 – Schéma des circuits équivalents de type T (sans tenir compte des pertes dans le fer) 43
Figure 3 – Schéma des circuits équivalents de type L (sans tenir compte des pertes dans le fer) 43
Figure 4 – Schéma des circuits équivalents de type Γ 43
Figure 5 – Caractéristiques typiques de l'inductance L en fonction du courant I 45

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

Partie 28: Méthodes d'essai pour la détermination des grandeurs des schémas d'équivalence des circuits pour moteurs à induction à cage basse tension triphasés

AVANT-PROPOS

1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI 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 la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
5) La CEI 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 la CEI. La CEI 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 la CEI, 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 la CEI, 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 la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, 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 la CEI peuvent faire l'objet de droits de brevet. La CEI 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 CEI 60034-28 a été établie par le comité d'études 2 de la CEI: Machines tournantes.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition publiée en 2007. Cette édition constitue une révision technique.

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

a) Toutes les formules sont maintenant données pour des circuits de connexion en étoile équivalente. Elles sont appliquées même dans le cas d'enroulements connectés en triangle. Toutes les formules des circuits de connexion en triangle équivalents ont été déplacées vers des notes.

b) Les procédures pour la détermination des paramètres du circuit équivalent à partir d'un test de courbe de charge, comme alternative aux tests en rotation en sens inverse et rotor bloqué rotors, ont été ajoutées.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
2/1685/FDIS	2/1688/RVD

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

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

NOTE Un tableau des correspondances de toutes les publications du comité d'études 2 de la CEI peut être trouvé sur le site web de la CEI, 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 résultat de stabilité indiquée sur le site web de la CEI 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.

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.

INTRODUCTION

Les circuits équivalents sont largement utilisés dans la commande des entraînements à vitesse variable avec des moteurs à induction alimentés par des inverseurs de fréquence. Les paramètres de moteur sont exigés pour la réalisation des algorithmes de commande par orientation du flux ou autres algorithmes de commande à base de modèle. Leur connaissance est exigée par les fournisseurs et les ingénieurs systèmes, en particulier lorsque les moteurs et les inverseurs de fréquence de différents fournisseurs sont combinés.

La présente norme fournit une méthode d'essai normalisée pour déterminer les paramètres des moteurs électriques. En même temps ce projet fournit une meilleure compréhension de la méthode de circuit équivalent. Les procédures peuvent être effectuées en laboratoires équipés pour des essais normalisés de machines électriques.

NOTE Le principal objectif de la présente norme est d'aider à la modélisation des moteurs régulés par la fréquence. Du fait des simplifications, les résultats ne peuvent pas être utilisés pour déterminer avec précision les caractéristiques et le rendement.

Une spécification technique, en rapport avec la présente norme, la CEI/TS 60034-25 énumère les paramètres exigés pour le moteur, mais ni leur définition ni leurs méthodes de détermination ne sont incluses.

MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

Partie 28: Méthodes d'essai pour la détermination des grandeurs des schémas d'équivalence des circuits pour moteurs à induction à cage basse tension triphasés

1 Domaine d'application

La présente partie de la série CEI 60034 s'applique aux moteurs à induction à cage basse tension triphasés de désignations de carcasses entre 56 et 400, spécifiés dans la CEI 60072-1.

La présente norme définit des éléments normalisés de schémas de circuits équivalents monophasés et établit à partir d'essais des procédures pour obtenir des valeurs pour ces éléments.

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).

CEI 60034-1:2010, *Machines électriques tournantes – Partie 1: Caractéristiques assignées et caractéristiques de fonctionnement*

CEI 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)*

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

CEI 60034-2-3[1], *Machines électriques tournantes – Partie 2-3: Méthodes d'essai spécifiques pour la détermination des pertes et du rendement des moteurs en courant alternatif alimentés par convertisseurs*

CEI/TS 60034-25[2], *Machines électriques tournantes – Partie 25: Guide pour la conception et la performance des moteurs en courant alternatif spécialement conçus pour être alimentés par convertisseurs*

CEI 60044 (toutes les parties), *Transformateurs de mesure*

CEI 60051-1, *Appareils mesureurs électriques indicateurs analogiques à action directe et leurs accessoires – Partie 1: Définitions et prescriptions générales communes à toutes les parties*

---

1 A publier.

2 Une révision de cette publication est actuellement en cours.

CEI 60072-1, *Dimensions et séries de puissances des machines électriques tournantes – Partie 1: Désignation des carcasses entre 56 et 400 et des brides entre 55 et 1080*