these losses are distributed between the tested machine and any other coupled to it mechanically, such as turbine, in proportion to the masses of their rotating parts. If there is no direct-flow cooling, the distribution of bearing losses shall be determined from empirical formulae by agreement between manufacturer and purchaser.

NOTE Clause D.3 repeats, technically unchanged, 4.7 of IEC 60034-2:1972, and Clause 15 of IEC 60034-2, amendment 1:1995.

D.4 Calorimetric method

D.4.1 Definition

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

NOTE Subclause D.4.1 repeats 4.8 of IEC 60034-2:1972.

D.4.2 Method

In accordance with IEC 60034-2A 1974 (named Clause 17 in IEC 60034-2, amendment 1 1995).

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	78
INTRODUCTION.....	80
1 Domaine d'application.....	81
2 Références normative.....	81
3 Termes et définitions	82
4 Symboles et termes abrégés.....	87
4.1 Symboles	87
4.2 Indices supplémentaires	88
5 Exigences fondamentales	89
5.1 Détermination directe et indirecte du rendement	89
5.2 Incertitude	89
5.3 Méthodes préférentielles.....	90
5.4 Alimentation électrique	94
5.5 Instrumentation.....	94
5.6 Unités.....	95
5.7 Résistance	95
6 Méthodes d'essais pour la détermination du rendement.....	96
6.1 Etat de la machine en essai et catégories d'essais.....	96
6.2 Mesures du circuit d'excitation	97
6.3 Mesures directes	97
6.4 Mesures indirectes	99
7 Détermination du rendement (machines à courant continu)	111
7.1 Détermination à partir de mesures directes	111
7.2 Détermination à partir de mesures indirectes	111
8 Détermination du rendement (machines à induction)	116
8.1 Détermination à partir de mesures directes	116
8.2 Détermination à partir de mesures indirectes	117
9 Détermination du rendement (machines synchrones)	128
9.1 Détermination à partir de mesures directes	128
9.2 Détermination à partir de mesures indirectes	129
Annexe A (normative) Correction des valeurs lues du couple du dynamomètre	135
Annexe B (normative) Calcul des valeurs pour la méthode Eh-star.....	137
Annexe C (informative) Types de systèmes d'excitation.....	140
Annexe D (normative) Autres méthodes d'essai.....	141

Figure 1 – Schéma pour l'essai de mesure du couple	98
Figure 2 – Schéma pour l'essai en opposition à double alimentation (pour les machines synchrones: $I_M = I_G, f_M = f_G$).....	98
Figure 3 – Schéma pour l'essai en opposition à simple alimentation, machines à courant continu.....	100
Figure 4 – Schéma pour l'essai en opposition à simple alimentation, machines synchrones	101
Figure 5 – Machine à induction, modèle T avec résistance équivalente des pertes dans le fer	105
Figure 6 – Schéma pour l'essai en opposition à simple alimentation, pertes supplémentaires, machines à courant continu.....	106
Figure 7 – Circuit d'essai Eh-star.....	109
Figure 8 – Schéma vectoriel pour obtenir le vecteur courant à partir de l'essai à la tension réduite	120
Figure 9 – Machines à induction, modèle réduit pour le calcul.....	123
Figure 10 – Lissage des valeurs des pertes résiduelles	125
Figure 11 – Valeur allouée assignée pour les pertes supplémentaires en charge P_{LL} , machines à induction	127
Tableau 1 – Machines à courant continu.....	91
Tableau 2 – Machines à induction	92
Tableau 3 – Machines synchrones.....	93
Tableau 4 – Température de référence.....	96
Tableau 5 – Facteurs multiplicateurs pour divers rapports de vitesses	116

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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)

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 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 n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 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 propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60034-2-1 a été établie par le comité d'études 2 de la CEI: Machines tournantes.

La présente norme annule et remplace la CEI 60034-2 (1972), son amendement 1 (1995) et son amendement 2 (1996). La CEI 60034-2A (1974) est maintenue telle quelle pour le moment.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
2/1443/FDIS	2/1460/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.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 60034, présentées sous le titre général *Machines électriques tournantes*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

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

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance 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.

INTRODUCTION

Au cours de l'étape de révision de la CEI 60034-2:1972 et de ses amendements CEI 60034-2 A1:1995 (définissant la CEI 60034-2A:1974 comme l'Article 17) et CEI 60034-2 A2:1996, le GT 28 a décidé avec l'approbation du CE 2 de séparer la norme révisée en trois sections:

- la première partie (CEI 60034-2-1) est destinée à couvrir, dans le domaine d'application de la CEI 60034-1, les machines qui sont en principe soumises aux essais en charge;
- la deuxième partie (CEI 60034-2-2) pour couvrir les essais qui sont principalement applicables aux machines de grande taille pour lesquelles la mise en œuvre d'autres méthodes est onéreuse (en particulier l'essai à la machine étalonnée, l'essai de ralentissement et la méthode calorimétrique);
- la troisième partie (CEI 60034-2-3) pour les essais sur les machines pour l'alimentation par convertisseur.

Pour conserver comme normatives dans la CEI 60034-2-1, les méthodes d'essai qui feront partie, à terme, de la CEI 60034-2-2, une Annexe D temporaire a été ajoutée. La présente annexe contient des éléments de la CEI 60034-2:1972 et son amendement 1:1995. Elle fait aussi référence à la CEI 60034-2A:1974. Elles seront toutes deux intégrées dans la future CEI 60034-2-2.

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)

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60034 a pour objet de définir les méthodes de détermination du rendement à partir d'essais et également de spécifier les méthodes permettant de déterminer des pertes spécifiques.

La présente norme s'applique aux machines à courant continu ainsi qu'aux machines à courant alternatif, synchrones et à induction, de toutes dimensions, qui entrent dans le domaine d'application de la CEI 60034-1.

NOTE Ces méthodes peuvent s'appliquer à d'autres types de machines, telles que les commutatrices, les moteurs à collecteurs à courant alternatif et les moteurs à induction monophasés.

2 Références normative

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application 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).

CEI 60027-1, *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique – Partie 1: Généralités*

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

CEI 60034-2A, *Machines électriques tournantes – Deuxième partie: Méthodes pour la détermination des pertes et du rendement des machines électriques tournantes à partir d'essais (à l'exclusion des machines pour véhicules de traction) – Premier complément: Mesure des pertes par la méthode calorimétrique*

CEI 60034-4, *Machines électriques tournantes – Quatrième partie: Méthodes pour la détermination à partir d'essais des grandeurs des machines synchrones*

CEI 60034-19, *Machines électriques tournantes – Partie 19: Méthodes spécifiques d'essai pour machines à courant continu à alimentation conventionnelle ou redressée*

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*

CEI 61986, *Machines électriques tournantes – Charge équivalente et techniques par superposition – Essais indirects pour déterminer l'échauffement*

NOTE Une révision de la CEI 61986 est en cours; elle sera publiée comme CEI 60034-29.

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans la CEI 60034-1, la CEI 60051-1 ainsi que les définitions suivantes s'appliquent.

3.1

rendement

rapport de la puissance de sortie à la puissance d'entrée, exprimé dans les mêmes unités, et généralement exprimé en pourcentage

3.2 Essais de détermination directe du rendement

3.2.1

généralités

méthode dans laquelle la détermination directe du rendement est effectuée en mesurant directement la puissance d'entrée et la puissance de sortie

3.2.2

essai au couplemètre

essai dans lequel la puissance de sortie mécanique fournie par une machine fonctionnant en moteur est déterminée par la mesure du couple de l'arbre au moyen d'un couplemètre et par la mesure simultanée de la vitesse de rotation. L'essai peut être également effectué sur une machine fonctionnant en génératrice au moyen d'un couplemètre pour déterminer la puissance d'entrée mécanique

3.2.3

essai au dynamomètre

essai conforme à 3.2.2 mais en mesurant le couple de l'arbre au moyen d'un dynamomètre

3.2.4

essai en opposition à double alimentation

essai dans lequel deux machines identiques sont couplées mécaniquement, les pertes totales des deux machines étant calculées par la différence entre les puissances électriques que l'une absorbe et que l'autre fournit

3.3 Essais de détermination indirecte du rendement

3.3.1

généralités

essai dans lequel la détermination indirecte du rendement est effectuée en mesurant la puissance d'entrée ou la puissance de sortie et en déterminant les pertes totales. Ces pertes sont ajoutées à la puissance de sortie, donnant ainsi la puissance d'entrée, ou soustraites de la puissance d'entrée, donnant ainsi la puissance de sortie

3.3.2

essai en opposition à simple alimentation

essai dans lequel deux machines identiques sont couplées mécaniquement, et connectées toutes deux au même réseau. Les pertes totales des deux machines sont considérées comme la puissance d'entrée fournie par ce réseau

3.3.3

essai à vide

essai dans lequel une machine fonctionne en moteur sans fournir de puissance mécanique utile sur l'arbre, ou dans lequel une machine fonctionne en génératrice avec ses bornes en circuit ouvert

3.3.4

essai à facteur de puissance nul (machines synchrones)

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

3.3.5

méthode du circuit équivalent (machines à induction)

essai dans lequel les pertes sont déterminées à l'aide d'un modèle de circuit équivalent

3.3.6

essai avec rotor retiré et essai de rotation inverse (machines à induction)

essai combiné dans lequel les pertes supplémentaires en charge sont déterminées à partir d'un essai avec rotor retiré et d'un essai avec le rotor opérant dans le sens inverse du champ magnétique tournant

3.3.7

essai de court-circuit (machines synchrones)

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

3.3.8

essai à rotor bloqué

essai dans lequel le rotor est bloqué pour empêcher toute rotation

3.3.9

essai Eh-star

essai dans lequel le moteur fonctionne en connexion en étoile sur une tension de déséquilibre

3.4 Pertes

3.4.1

pertes totales P_T

différence entre la puissance d'entrée et la puissance de sortie, équivalente à la somme des pertes constantes (voir 3.4.2), des pertes en charge (voir 3.4.4), des pertes supplémentaires en charge (voir 3.4.5) et des pertes dans le circuit d'excitation (voir 3.4.3)

3.4.2 Pertes constantes

3.4.2.1

pertes constantes P_k

somme des pertes dans le fer et des pertes par frottement et par ventilation

3.4.2.2

pertes dans le fer P_{fe}

pertes dans le fer dans les parties actives et pertes supplémentaires à vide dans les autres parties métalliques

3.4.2.3 Pertes par frottement et par ventilation P_{fw}

3.4.2.3.1

pertes par frottement

pertes dues au frottement (paliers et balais, sinon relevées à des conditions assignées), à l'exclusion des pertes dans un système de graissage séparé. Il convient que les pertes dans les paliers communs soient indiquées séparément, que ces paliers soient fournis ou non avec la machine. Les pertes dans les paliers sont fondées sur les températures de fonctionnement des paliers, sur le type d'huile et la température de l'huile.

NOTE 1 Si l'on doit indiquer les pertes dans un système de graissage séparé, il convient de les mentionner séparément.

Pour les machines verticales, les pertes dans les paliers de butée doivent être déterminées à l'exclusion de toute poussée externe.

NOTE 2 Les pertes supplémentaires dues à la poussée externe peuvent être indiquées séparément, par accord; il convient alors que cet accord inclut la charge sur la butée, la température des paliers, le type d'huile et aussi la température de l'huile.

NOTE 3 Les pertes par frottement dues à la charge sur la butée peuvent être incluses par accord.

Si la machine en essai utilise un refroidissement à flux direct des paliers, ces pertes sont distribuées entre la machine essayée et toute autre machine couplée à elle mécaniquement, telle qu'une turbine, proportionnellement aux masses de leurs parties tournantes. S'il n'y a pas de refroidissement à flux direct, la distribution des pertes de paliers doit être déterminée par accord, à partir de formules empiriques.

3.4.2.3.2

pertes par ventilation

pertes totales dues au frottement aérodynamique dans toutes les parties de la machine, y compris la puissance absorbée par les ventilateurs montés sur l'arbre et dans les machines auxiliaires faisant partie intégrante de la machine

NOTE 1 Il convient que les pertes dans un système de ventilation séparé soient mentionnées séparément.

NOTE 2 Pour les machines refroidies indirectement ou directement à l'hydrogène, voir la CEI 60034-1.

3.4.3 Pertes dans le circuit d'excitation

3.4.3.1

pertes dans le circuit d'excitation P_e

somme des pertes dans l'enroulement d'excitation (voir 3.4.3.2), des pertes dans l'excitatrice (voir 3.4.3.3) et, pour les machines synchrones, des pertes électriques éventuelles dans les balais (voir 3.4.3.5)

3.4.3.2

pertes dans l'enroulement d'excitation P_f

les pertes dans l'enroulement d'excitation (de champ) sont égales au produit du courant d'excitation I_e par la tension d'excitation U_e

3.4.3.3

pertes dans l'excitatrice P_{Ed}

les pertes dans l'excitatrice pour les différents systèmes d'excitation (voir Annexe C) sont définies comme suit:

a) Excitatrice entraînée par l'arbre

Les pertes dans l'excitatrice sont la puissance absorbée par l'excitatrice sur son arbre (déduction faite des pertes par frottement et par ventilation), à laquelle s'ajoute la puissance P_{1E} fournie par une source séparée au niveau de ses bornes d'enroulement d'excitation, moins la puissance utile fournie par l'excitatrice à ses bornes. La puissance utile aux bornes de l'excitatrice est égale aux pertes dans l'enroulement d'excitation, selon 3.4.3.2, auxquelles s'ajoutent (dans le cas d'une machine synchrone) les pertes électriques dans les balais, selon 3.4.3.5

Si l'excitatrice peut être désaccouplée et essayée séparément, ses pertes peuvent être déterminées conformément à 5.3.

Lorsque l'excitatrice utilise des alimentations auxiliaires séparées, leurs consommations doivent être incluses dans les pertes de l'excitatrice, à moins qu'elles ne soient prises en compte avec la consommation des auxiliaires de la machine principale.

b) Excitatrice sans balai

Les pertes dans l'excitatrice sont la puissance absorbée par l'excitatrice sur son arbre, réduction faite des pertes par frottement et par ventilation (lorsque l'essai correspondant est réalisé sur l'ensemble machine principale-excitatrice), à laquelle s'ajoute la puissance électrique P_{1E} provenant d'une source éventuelle séparée absorbée par son enroulement de champ ou son enroulement du stator (dans le cas d'une excitatrice à induction), moins la puissance utile fournie par l'excitatrice aux bornes du convertisseur tournant de puissance.

Lorsque l'excitatrice utilise des alimentations auxiliaires séparées, leurs consommations doivent être incluses dans les pertes de l'excitatrice, à moins qu'elles ne soient considérées avec la consommation des auxiliaires de la machine principale.

Si l'excitatrice peut être désaccouplée et essayée séparément, ses pertes peuvent être déterminées conformément à 5.3.

c) Excitatrice tournante séparée

Les pertes dans l'excitatrice sont la différence entre la puissance absorbée par le moteur d'entraînement, à laquelle s'ajoute la puissance absorbée par les alimentations auxiliaires séparées, des machines d'entraînement et entraînées, y compris la puissance fournie par une source séparée à leurs bornes d'enroulement d'excitation, et la puissance d'excitation fournie selon 3.4.3.2 et 3.4.3.4. Les pertes dans l'excitatrice peuvent être déterminées conformément à 5.3.

d) Système d'excitation statique (excitatrice statique)

Les pertes dans le système d'excitation sont la différence entre la puissance électrique fournie par sa source de puissance, à laquelle s'ajoute la puissance absorbée par les alimentations auxiliaires séparées, et l'excitation fournie selon 3.4.3.2 et 3.4.3.4.

Dans le cas de systèmes alimentés par des transformateurs, les pertes dans le transformateur doivent être incluses dans les pertes de l'excitatrice.

e) Excitation provenant d'un enroulement auxiliaire (excitatrice à partir d'un enroulement auxiliaire)

Les pertes dans l'excitatrice sont les pertes dans le cuivre dans l'enroulement auxiliaire (secondaire) et les pertes supplémentaires dans le fer produites par l'augmentation des harmoniques de flux. Les pertes supplémentaires dans le fer sont la différence entre les pertes qui se produisent lorsque l'enroulement auxiliaire est chargé et lorsqu'il est déchargé.

Dans la mesure où la séparation de la composante des pertes d'excitation est difficile, il est recommandé de considérer ces pertes comme partie intégrante des pertes dans le stator, lors de la détermination de l'ensemble des pertes.

Dans les cas c) et d), on ne tient pas compte des pertes (éventuelles) de la source d'excitation ou dans les connexions entre la source et les balais (machine synchrone) ou entre la source et les bornes de l'enroulement d'excitation (machine à courant continu).

Si l'excitation est fournie par un système ayant des composants tels que décrits de b) à e), les pertes dans l'excitatrice doivent inclure les pertes correspondantes des composants appartenant aux catégories énumérées en Annexe C si applicables.

3.4.3.4**puissance d'excitation fournie séparément P_{1E}**

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

- pour les types d'excitatrices a) et b), la puissance d'excitation dans l'excitatrice (excitatrice à courant continu ou synchrone), ou la puissance d'entrée de l'enroulement du stator (excitatrice à induction). elle couvre une partie des pertes dans l'excitatrice P_{Ed} (et d'autres pertes dans les excitatrices à induction), tandis qu'une plus grande partie de P_e est fournie par l'arbre;