

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	73
1 Domaine d'application .....	75
2 Références normatives.....	75
3 Termes et définitions .....	77
4 Services .....	81
4.1 Spécification du service.....	81
4.2 Services types.....	82
5 Caractéristiques assignées.....	94
5.1 Attribution des caractéristiques assignées.....	94
5.2 Classes de caractéristiques assignées .....	94
5.3 Choix d'une classe de caractéristiques assignées .....	95
5.4 Attribution de la puissance à une classe de caractéristiques assignées.....	96
5.5 Puissance assignée.....	96
5.6 Tension assignée .....	96
5.7 Coordination des tensions et des puissances .....	97
5.8 Machines ayant plus d'un ensemble de caractéristiques assignées .....	97
6 Conditions de fonctionnement sur site .....	97
6.1 Généralités.....	97
6.2 Altitude.....	97
6.3 Température maximale de l'air ambiant .....	97
6.4 Température minimale de l'air ambiant.....	97
6.5 Température de l'eau de refroidissement.....	98
6.6 Stockage et transport .....	98
6.7 Pureté de l'hydrogène de refroidissement.....	98
7 Conditions de fonctionnement électriques.....	98
7.1 Alimentation électrique .....	98
7.2 Forme et symétrie des tensions et des courants.....	98
7.3 Variations de tension et de fréquence en fonctionnement.....	101
7.4 Machines triphasées fonctionnant sur réseaux isolés .....	103
7.5 Niveaux de tenue en tension (crête et gradient) .....	104
8 Caractéristiques thermiques de fonctionnement et essais thermiques.....	104
8.1 Classification thermique .....	104
8.2 Fluide de refroidissement de référence.....	104
8.3 Conditions des essais thermiques .....	105
8.4 Échauffement d'un élément de machine .....	106
8.5 Méthodes de mesurage de la température.....	107
8.6 Détermination de la température d'enroulement .....	107
8.7 Durée des essais thermiques .....	111
8.8 Détermination de la constante de temps thermique équivalente des machines pour service type S9.....	111
8.9 Mesurage de la température des paliers.....	111
8.10 Limites d'échauffement et de température .....	112
9 Autres caractéristiques de fonctionnement et essais.....	121
9.1 Essais individuels.....	121
9.2 Essais de tension de tenue.....	122

9.3	Surintensité occasionnelle.....	125
9.4	Excès momentané de couple des moteurs.....	126
9.5	Couple minimal pendant le démarrage.....	127
9.6	Vitesse de sécurité en fonctionnement des moteurs à induction à cage.....	127
9.7	Survitesse.....	127
9.8	Courant de court-circuit des machines synchrones.....	129
9.9	Essai de tenue au court-circuit des machines synchrones.....	129
9.10	Essai de commutation pour machines à collecteur.....	129
9.11	Distorsion harmonique totale ( <i>DHT</i> ) pour machines synchrones.....	129
10	Plaques signalétiques.....	130
10.1	Généralités.....	130
10.2	Marquage.....	130
11	Exigences diverses.....	132
11.1	Mise à la terre de protection des machines.....	132
11.2	Clavette(s) de bout d'arbre.....	133
12	Tolérances.....	134
12.1	Généralités.....	134
12.2	Tolérances sur les valeurs des grandeurs.....	134
13	Compatibilité électromagnétique (CEM).....	135
13.1	Généralités.....	135
13.2	Immunité.....	136
13.3	Emission.....	136
13.4	Essais d'immunité.....	136
13.5	Essais d'émission.....	136
14	Sécurité.....	137
	Annexe A (informative) Guide pour l'application du service type S10 et pour l'obtention de la valeur relative de l'espérance de vie thermique <i>TL</i> .....	138
	Annexe B (informative) Limites de compatibilité électromagnétique (CEM).....	139
	Bibliographie.....	140
	Figure 1 – Service continu – Service type S1.....	82
	Figure 2 – Service temporaire – Service type S2.....	83
	Figure 3 – Service intermittent périodique – Service type S3.....	84
	Figure 4 – Service intermittent périodique à démarrage – Service type S4.....	85
	Figure 5 – Service intermittent périodique à freinage électrique – Service type S5.....	86
	Figure 6 – Service ininterrompu périodique à charge intermittente – Service type S6.....	87
	Figure 7 – Service ininterrompu périodique à freinage électrique – Service type S7.....	88
	Figure 8 – Service ininterrompu périodique à changements liés de charge et de vitesse – Service type S8.....	90
	Figure 9 – Service à variations non périodique de charge et de vitesse – Service type S9.....	91
	Figure 10 – Service avec charges constantes distinctes – Service type S10.....	93
	Figure 11 – Valeurs limites de tension et fréquence pour les alternateurs.....	103
	Figure 12 – Valeurs limites de tension et fréquence pour les moteurs.....	103

Tableau 1 – Tensions assignées préférables .....	97
Tableau 2 – Conditions de fonctionnement déséquilibrées pour les machines synchrones .....	100
Tableau 3 – Fonctions principales des machines .....	102
Tableau 4 – Fluide de refroidissement de référence (voir aussi le Tableau 10) .....	105
Tableau 5 – Délai .....	109
Tableau 6 – Points de mesure .....	112
Tableau 7 – Limites d'échauffement des enroulements à refroidissement indirect par l'air ..	114
Tableau 8 – Limites d'échauffement des enroulements à refroidissement indirect par hydrogène .....	115
Tableau 9 – Corrections aux limites des échauffements sur le site de fonctionnement des enroulements à refroidissement indirect pour tenir compte de conditions de fonctionnement et de caractéristiques assignées qui ne sont pas les conditions de référence .....	116
Tableau 10 – Températures ambiantes maximales présumées.....	117
Tableau 11 – Limites corrigées des échauffements sur le site d'essai ( $\Delta\theta_T$ ) des enroulements à refroidissement indirect par air pour tenir compte des conditions de fonctionnement sur le site d'essai .....	119
Tableau 12 – Limites des températures des enroulements à refroidissement direct et de leurs fluides de refroidissement .....	120
Tableau 13 – Corrections aux limites de température sur le site de fonctionnement pour les enroulements à refroidissement direct par air ou hydrogène pour tenir compte de conditions de fonctionnement et de caractéristiques assignées qui ne sont pas les conditions de référence.....	121
Tableau 14 – Limites corrigées de température sur le site d'essai ( $\theta_T$ ) pour les enroulements à refroidissement direct par air pour tenir compte des conditions de fonctionnement sur le site d'essai .....	121
Tableau 15 – Liste minimale des essais individuels .....	122
Tableau 16 – Essais de tension de tenue.....	124
Tableau 17 – Vitesse maximale de sécurité en fonctionnement ( $\text{min}^{-1}$ ) des moteurs triphasés à induction à cage, à une seule vitesse, pour des tensions d'alimentation inférieures ou égales à 1 000 V .....	127
Tableau 18 – Survitesses.....	128
Tableau 19 – Section des conducteurs de terre .....	133
Tableau 20 – Nomenclature des tolérances sur les valeurs des grandeurs.....	134
Tableau B.1 – Limites d'émission électromagnétique pour les machines sans balais .....	139
Tableau B.2 – Limites d'émission électromagnétique pour les machines avec balais .....	139

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –****Partie 1: Caractéristiques assignées  
et caractéristiques de fonctionnement**

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

Cette douzième édition annule et remplace la onzième édition publiée en 2004. Elle constitue une révision technique.

Aucune modification majeure n'a été apportée à la présente édition. Les corrections, clarifications et améliorations apportées sont les suivantes:

Article ou paragraphe	Modifications
6.5	Clarification portant sur la température de l'eau de refroidissement
8.10.2	Modification mineure au Tableau 12
10.2	Reconnaissance du code IE, de la tension en circuit ouvert des machines synchrones excitées par aimants permanents et de la vitesse de fonctionnement maximale des machines spécialement conçues pour l'alimentation des convertisseurs statiques
12	Clarification du terme 'tolérances'

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
2/1579/FDIS	2/1587/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.

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.

NOTE Un tableau de références croisées de toutes les publications du CE 2 de la CEI est donné sur le tableau de bord du CE 2 sur le site web de la CEI.

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.

## MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

### Partie 1: Caractéristiques assignées et caractéristiques de fonctionnement

#### 1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60034 est applicable à toutes les machines électriques tournantes à l'exception de celles qui font l'objet d'autres normes de la CEI, par exemple la CEI 60349 [10]<sup>1)</sup>.

Les machines comprises dans le domaine d'application de la présente norme peuvent également être soumises à des exigences nouvelles, modifiées ou complémentaires figurant dans d'autres publications – par exemple, la série CEI 60079 [8] et la CEI 60092 [9].

NOTE S'il est nécessaire de modifier certains articles de la présente norme afin de permettre des applications spéciales, par exemple pour les matériels soumis à des rayonnements ou les matériels aérospatiaux, tous les autres articles restent valables, pour autant qu'ils ne soient pas en contradiction avec ces spécifications particulières.

#### 2 Références normatives

Les documents normatifs suivants sont indispensables pour l'application de la présente norme. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document référencé s'applique (y compris les amendements).

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

CEI 60027-4, *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique – Partie 4: Machines électriques tournantes*

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

CEI 60034-3, *Machines électriques tournantes – Partie 3: Règles spécifiques pour les alternateurs synchrones entraînés par turbines à vapeur ou par turbines à gaz à combustion*

CEI 60034-5, *Machines électriques tournantes – Partie 5: Degrés de protection procurés par la conception intégrale des machines électriques tournantes (code IP) – Classification*

CEI 60034-8, *Machines électriques tournantes – Partie 8: Marques d'extrémité et sens de rotation*

CEI 60034-12, *Machines électriques tournantes – Partie 12: Caractéristiques de démarrage des moteurs triphasés à induction à cage à une seule vitesse*

CEI 60034-15, *Machines électriques tournantes – Partie 15: Niveaux de tenue au choc électrique des bobines de stator préformées des machines tournantes à courant alternatif*

---

1) Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

CEI 60034-17, *Machines électriques tournantes – Partie 17: Moteurs à induction à cage alimentés par convertisseurs – Guide d'application*

CEI 60034-18 (toutes les parties), *Machines électriques tournantes – Partie 18: Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation*

CEI 60034-30, *Machines électriques tournantes – Partie 30: Classes de rendement pour les moteurs à induction triphasés à cage, mono vitesse (Code IE)*

CEI 60038, *Tensions normales de la CEI*

CEI 60050-411:1996, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 411: Machines tournantes*

CEI 60060-1, *Techniques des essais à haute tension – Partie 1: Définitions et prescriptions générales relatives aux essais*

CEI 60072 (toutes les parties), *Dimensions et séries de puissances des machines électriques tournantes*

CEI 60085, *Isolation électrique – Evaluation et désignation thermiques*

CEI 60204-1, *Sécurité des machines – Equipement électrique des machines – Partie 1: Règles générales*

CEI 60204-11, *Sécurité des machines – Equipement électrique des machines – Partie 11: Prescriptions pour les équipements HT fonctionnant à des tensions supérieures à 1 000 V c.a. ou 1 500 V c.c. et ne dépassant pas 36 kV*

CEI 60335-1, *Appareils électrodomestiques et analogues – Sécurité – Partie 1: Prescriptions générales*

CEI 60445, *Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification – Identification of equipment terminals and conductor terminals* (disponible en anglais seulement)

CEI 60664-1, *Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension – Partie 1: Principes, exigences et essais*

CEI 60971, *Convertisseurs à semiconducteurs. Code d'identification pour montages de convertisseurs<sup>2)</sup>*

CEI 61293, *Marquage des matériels électriques avec des caractéristiques assignées relatives à l'alimentation électrique – Prescriptions de sécurité*

CISPR 11, *Appareils industriels, scientifiques et médicaux – Caractéristiques de perturbations radioélectriques – Limites et méthodes de mesure*

CISPR 14 (toutes les parties), *Compatibilité électromagnétique – Exigences pour les appareils électrodomestiques, outillages électriques et appareils analogues*

CISPR 16 (toutes les parties), *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques*

---

<sup>2)</sup> La CEI 60971 a été retirée (sans être remplacée) en 2004.

### 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de la CEI 60050-411, dont quelques-uns sont répétés ici pour des raisons de commodité, s'appliquent ainsi que les termes et définitions suivants.

NOTE 1 Pour des définitions autres que celles de 3.17 à 3.22 concernant les modes et les fluides de refroidissement, il convient de se référer à la CEI 60034-6 [1].

NOTE 2 Pour les besoins de la présente norme, le terme «accord» signifie «accord entre le constructeur et l'acheteur».

#### 3.1 valeur assignée

valeur d'une grandeur fixée, généralement par le constructeur, pour un fonctionnement spécifié d'une machine

[VEI 411-51-23]

NOTE La tension assignée ou plage de tensions assignées est la tension assignée ou plage de tensions assignées entre phases aux bornes.

#### 3.2 caractéristiques assignées

ensemble des valeurs assignées et des conditions de fonctionnement

[VEI 411-51-24]

#### 3.3 puissance assignée

valeur de la puissance incluse dans les caractéristiques assignées

#### 3.4 charge

ensemble des valeurs des grandeurs électriques et mécaniques qui caractérisent les exigences imposées à une machine tournante par un circuit électrique ou un dispositif mécanique, à un instant donné

[VEI 411-51-01]

#### 3.5 fonctionnement à vide

état de fonctionnement d'une machine tournant à puissance nulle (mais les autres conditions étant les conditions normales de fonctionnement)

[VEI 411-51-02, modifiée]

#### 3.6 pleine charge

charge amenant une machine à fonctionner à ses caractéristiques assignées

[VEI 411-51-10]

#### 3.7 valeur de pleine charge

valeur d'une grandeur pour une machine fonctionnant à pleine charge

[VEI 411-51-11]

NOTE Cette notion est applicable à la puissance, au couple, au courant, à la vitesse, etc.

### 3.8

#### **repos**

absence complète de tout mouvement et de toute alimentation électrique ou de tout entraînement mécanique

[VEI 411-51-03]

### 3.9

#### **service**

stipulation de la charge (des charges) à laquelle (auxquelles) la machine est soumise, y compris, le cas échéant, les périodes de démarrage, de freinage électrique, de fonctionnement à vide et de repos, ainsi que leurs durées et leur ordre de succession dans le temps

[VEI 411-51-06]

### 3.10

#### **service type**

service continu, temporaire ou périodique comprenant une ou plusieurs charges qui restent constantes pendant la durée spécifiée ou service non périodique pendant lequel généralement la charge et la vitesse varient dans la plage de fonctionnement admissible

[VEI 411-51-13]

### 3.11

#### **facteur de marche**

rapport de la période de fonctionnement en charge, y compris le démarrage et le freinage électrique, à la durée du cycle de service, exprimé en pourcentage

[VEI 411-51-09]

### 3.12

#### **couple à rotor bloqué**

couple mesuré le plus faible que développe le moteur sur son bout d'arbre d'entraînement, quand son rotor est maintenu bloqué, quelle que soit sa position angulaire et qu'il est alimenté à tension et fréquence assignées

[VEI 411-48-06]

### 3.13

#### **courant à rotor bloqué**

valeur efficace la plus élevée du courant en régime établi, absorbé par le moteur lorsqu'il est alimenté aux tension et fréquence assignées et que son rotor est maintenu bloqué quelle que soit sa position angulaire

[VEI 411-48-16]

### 3.14

#### **couple minimal pendant le démarrage (d'un moteur à courant alternatif)**

valeur la plus faible du couple asynchrone en régime établi, que le moteur développe entre la vitesse nulle et la vitesse qui correspond au couple maximal (couple de décrochage) lorsque le moteur est alimenté à la tension et à la fréquence assignées

Cette définition ne s'applique pas au cas de moteurs asynchrones dont le couple décroît continuellement lorsque la vitesse augmente.

NOTE En plus des couples asynchrones en régime établi, il existe, à des vitesses spécifiques, des couples harmoniques synchrones qui sont fonction de l'angle de charge du rotor.

A de telles vitesses, le couple d'accélération peut être négatif pour certains angles de charge du rotor.

L'expérience et le calcul montrent que c'est une condition de fonctionnement instable et qu'en conséquence les couples harmoniques synchrones n'empêchent pas l'accélération du moteur et sont exclus de cette définition.

### 3.15

#### **couple maximal (d'un moteur à courant alternatif) couple de décrochage**

valeur maximale en régime établi du couple asynchrone que le moteur développe sans chute brutale de vitesse, lorsqu'il est alimenté à tension et fréquence assignées

Cette définition ne s'applique pas au cas des moteurs asynchrones dont le couple décroît continuellement lorsque la vitesse augmente.

### 3.16

#### **couple de décrochage synchrone (d'un moteur)**

couple le plus élevé que développe un moteur synchrone à sa température de fonctionnement et à la vitesse de synchronisme, à tension, fréquence et excitation assignées

### 3.17

#### **refroidissement**

opération par laquelle de la chaleur provenant des pertes produites dans une machine est cédée à un fluide de refroidissement primaire qui peut être continûment remplacé ou être lui-même refroidi dans un échangeur de chaleur par un fluide de refroidissement secondaire

[VEI 411-44-01]

### 3.18

#### **fluide de refroidissement**

fluide, liquide ou gaz, par l'intermédiaire duquel la chaleur est transférée

[VEI 411-44-02]

### 3.19 3.19

#### **fluide de refroidissement primaire**

fluide, liquide ou gaz, qui, se trouvant à une température inférieure à celle des pièces de la machine et en contact avec celles-ci, transporte la chaleur cédée par ces pièces

[VEI 411-44-03]

### 3.20

#### **fluide de refroidissement secondaire**

fluide, liquide ou gaz, qui, se trouvant à une température inférieure à celle du fluide de refroidissement primaire, transporte la chaleur cédée par ce fluide primaire au moyen d'un échangeur de chaleur ou à travers la surface extérieure de la machine

[VEI 411-44-04]

### 3.21

#### **enroulement à refroidissement direct enroulement à refroidissement interne**

enroulement refroidi principalement par un fluide de refroidissement s'écoulant en contact direct avec la partie refroidie à travers des passages creux, tubes, conduits ou canaux qui, quelle que soit leur orientation, forment partie intégrante de l'enroulement à l'intérieur de l'isolation principale

[VEI 411-44-08]

NOTE Dans tous les cas où «indirect» ou «direct» n'est pas indiqué, il s'agit d'un enroulement à refroidissement indirect.

### 3.22

#### **enroulement à refroidissement indirect**

tout enroulement autre qu'un enroulement à refroidissement direct

NOTE Dans tous les cas où «indirect» ou «direct» n'est pas indiqué, il s'agit d'un enroulement à refroidissement indirect.

[VEI 411-44-09]

### 3.23

#### **isolation supplémentaire**

isolation indépendante prévue en plus de l'isolation principale, en vue d'assurer la protection contre les chocs électriques en cas de défaut survenant dans l'isolation principale

### 3.24

#### **moment d'inertie**

somme (intégrale) des produits des masses élémentaires d'un corps par le carré de leurs distances (radiales) par rapport à un axe donné

### 3.25

#### **équilibre thermique**

état atteint lorsque les échauffements des diverses parties de la machine ne varient pas de plus d'un gradient de 2 K par heure

[VEI 411-51-08]

NOTE On peut déterminer l'équilibre thermique à partir d'un tracé de l'échauffement en fonction du temps, lorsque les droites entre points pris en début et fin de chacun de deux intervalles de temps raisonnables successifs ont une pente de moins de 2 K par heure.

### 3.26

#### **constante de temps thermique équivalente**

constante de temps qui, en remplaçant plusieurs constantes de temps individuelles, détermine approximativement l'évolution de la température dans un enroulement après une variation de courant en échelon

### 3.27

#### **enroulement enrobé**

enroulement complètement enfermé ou noyé dans un isolant moulé

[VEI 411-39-06]

### 3.28

#### **valeur assignée du facteur de forme du courant continu fourni à l'induit d'un moteur à courant continu par un convertisseur statique de puissance**

rapport de la valeur efficace maximale admissible du courant  $I_{\text{rms,maxN}}$  à sa valeur moyenne  $I_{\text{moyN}}$  (valeur moyenne intégrée sur une période) dans les conditions assignées:

$$k_{fN} = \frac{I_{\text{eff,maxN}}}{I_{\text{moyN}}}$$

### 3.29

#### **facteur d'ondulation du courant**

rapport de la différence entre la valeur maximale  $I_{\text{max}}$  et la valeur minimale  $I_{\text{min}}$  d'un courant ondulé au double de sa valeur moyenne  $I_{\text{moy}}$  (valeur moyenne intégrée sur une période):

$$q_i = \frac{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}{2 \times I_{\text{moy}}}$$

NOTE Pour de faibles valeurs d'ondulation du courant, le facteur d'ondulation peut être approché par la formule suivante:

$$q_i = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

La formule ci-dessus peut être utilisée en tant qu'approximation si la valeur calculée résultante de  $q_i$  est inférieure ou égale à 0,4.

### 3.30

#### **tolérance**

écart permis entre la valeur déclarée et la valeur mesurée

### 3.31

#### **essai de type**

essai effectué sur une ou plusieurs machines réalisées selon une conception donnée pour vérifier que cette conception répond à certaines spécifications

[VEI 411-53-01]

NOTE L'essai type peut être aussi considéré comme valide s'il a été réalisé sur une machine ayant des déviations mineures en caractéristiques assignées ou autres. Il convient que ces déviations fassent l'objet d'un accord.

### 3.32

#### **essai de série**

essai auquel est soumise chaque machine en cours ou en fin de fabrication pour vérifier qu'elle satisfait à certains critères définis

[VEI 411-53-02]

### 3.33

#### **vitesse d'emballément (d'un groupe électrogène)**

vitesse maximale atteinte par le groupe, en cas de disparition de la pleine charge de la génératrice et de non-fonctionnement du régulateur de vitesse

[VEI 811-17-23]

NOTE Pour les moteurs, la survitesse maximale à la perte de l'alimentation qu'un moteur pourrait atteindre lorsqu'il est entraîné par l'équipement couplé

## 4 Services

### 4.1 Spécification du service

C'est à l'acheteur qu'incombe la responsabilité de spécifier le service. L'acheteur peut décrire le service par l'une des méthodes suivantes:

- a) numériquement, si la charge ne varie pas ou varie de façon connue;
- b) graphiquement, par une représentation des grandeurs variables en fonction du temps;
- c) en choisissant l'un des services types S1 à S10 à condition que ce service soit au moins aussi sévère que le service prévu.

Le service type doit être désigné par l'abréviation appropriée spécifiée en 4.2, à la suite de la valeur de la charge.

Une formulation du facteur de marche est indiquée sous chaque figure appropriée de service type.

Normalement l'acheteur ne peut pas fournir une valeur pour le moment d'inertie du moteur ( $J_M$ ) ni pour l'espérance de vie thermique en valeur relative ( $TL$ ), voir Annexe A. Ces valeurs sont fournies par le constructeur.

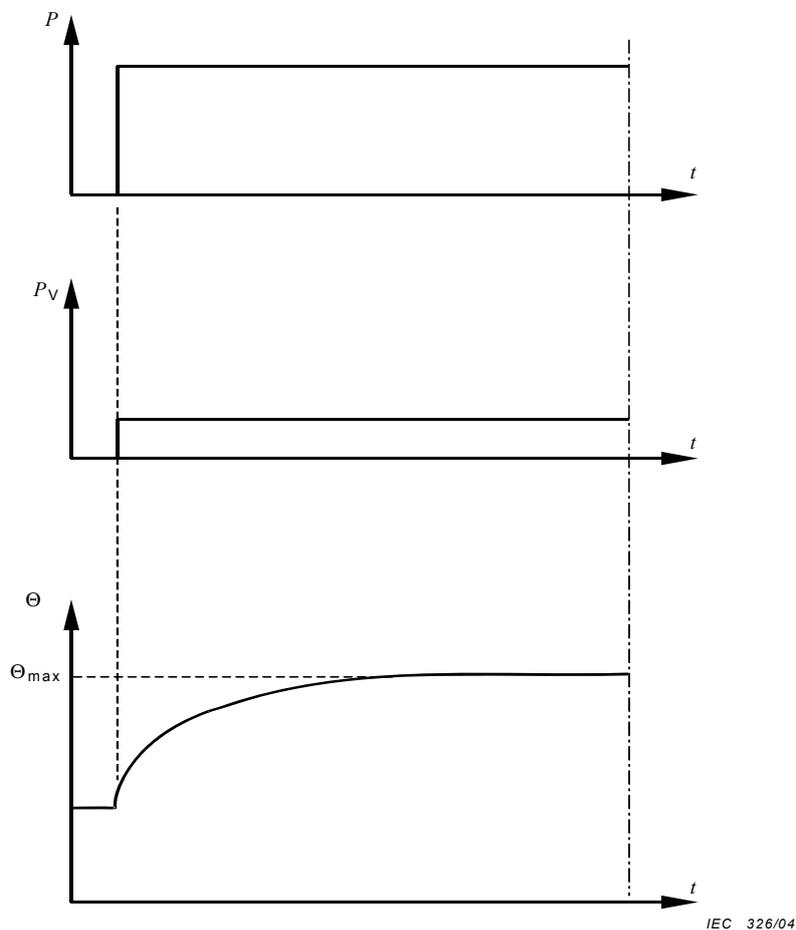
Lorsque l'acheteur ne stipule pas de service, le constructeur doit considérer que le service type S1 (service continu) est applicable.

## 4.2 Services types

### 4.2.1 Service type S1 – Service continu

Fonctionnement à charge constante maintenue pendant une durée suffisante pour que la machine atteigne l'équilibre thermique, voir Figure 1.

L'abréviation appropriée est S1.



#### Légende

- $P$  charge
- $P_v$  pertes électriques
- $\Theta$  température
- $\Theta_{max}$  température maximale atteinte
- $t$  temps

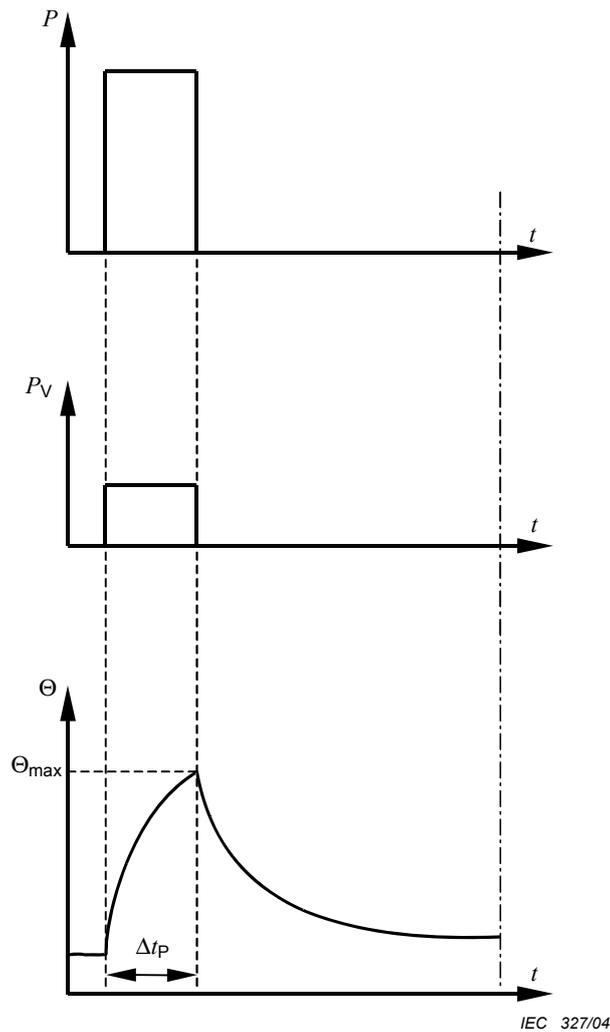
Figure 1 – Service continu – Service type S1

#### 4.2.2 Service type S2 – Service temporaire

Fonctionnement à charge constante pendant un temps déterminé, moindre que celui requis pour atteindre l'équilibre thermique, suivi d'un temps de repos d'une durée suffisante pour rétablir à 2 K près l'égalité de température entre la machine et le fluide de refroidissement, voir Figure 2.

L'abréviation appropriée est S2, suivie de la valeur de la durée du service.

Exemple: S2 60 min.



#### Légende

$P$	charge
$P_V$	pertes électriques
$\Theta$	température
$\Theta_{\max}$	température maximale atteinte
$t$	temps
$\Delta t_p$	durée de fonctionnement à charge constante

Figure 2 – Service temporaire – Service type S2

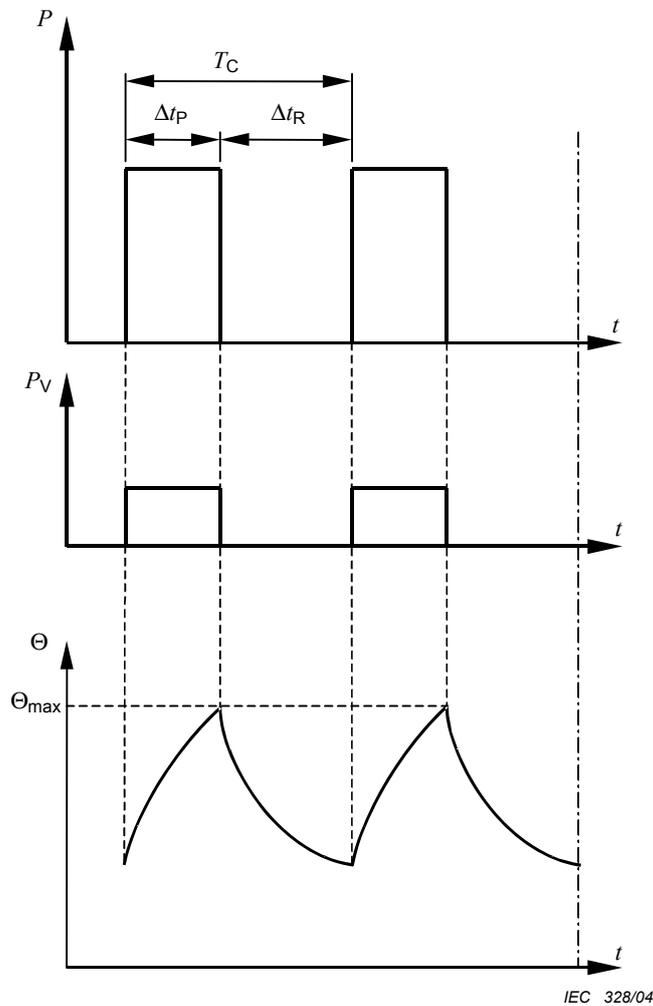
### 4.2.3 Service type S3 – Service intermittent périodique

NOTE Un service type périodique implique que l'équilibre thermique n'est pas atteint pendant la période de charge.

Suite de cycles de service identiques comprenant chacun un temps de fonctionnement à charge constante et un temps de repos et non alimenté, voir Figure 3. Dans ce service, le cycle est tel que le courant de démarrage n'affecte pas l'échauffement de façon significative.

L'abréviation appropriée est S3, suivie de la valeur du facteur de marche.

Exemple: S3 25 %



#### Légende

- $P$  charge
- $P_V$  pertes électriques
- $\Theta$  température
- $\Theta_{max}$  température maximale atteinte
- $t$  temps
- $T_C$  durée d'un cycle
- $\Delta t_P$  durée de fonctionnement à charge constante
- $\Delta t_R$  durée au repos
- Facteur de marche  $\Delta t_P/T_C$

Figure 3 – Service intermittent périodique – Service type S3

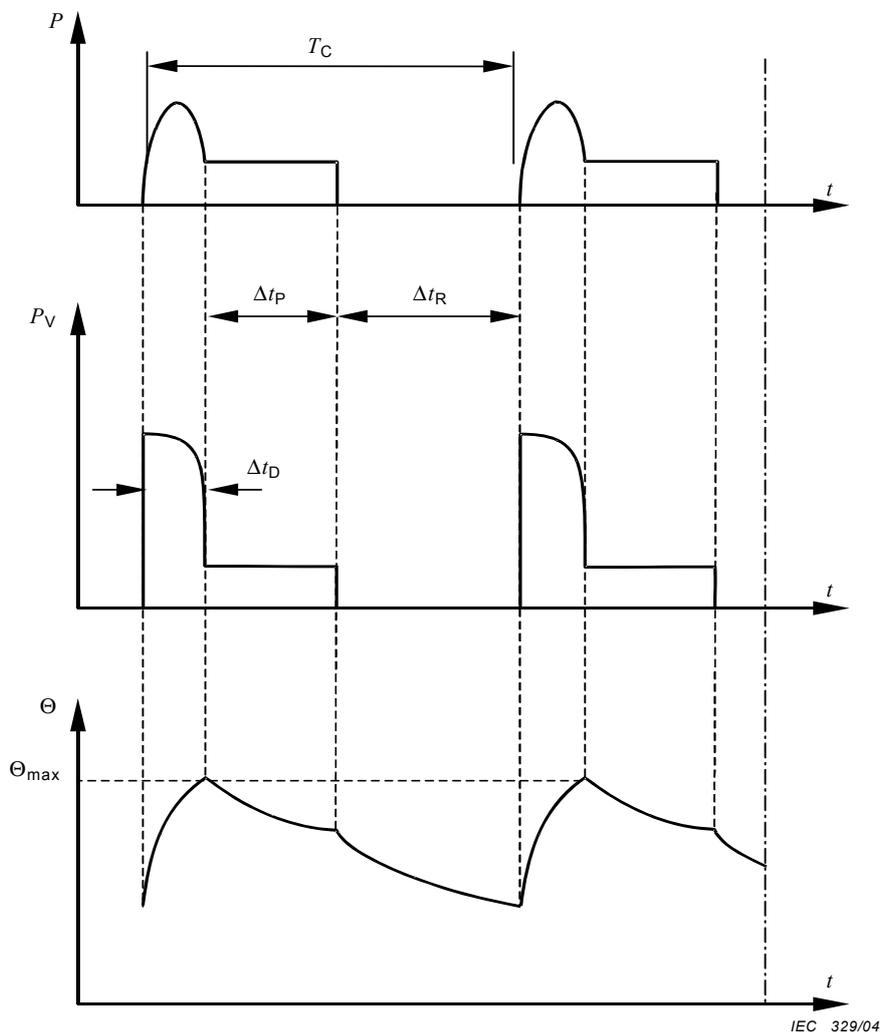
#### 4.2.4 Service type S4 – Service intermittent périodique à démarrage

NOTE Un service type périodique implique que l'équilibre thermique n'est pas atteint pendant la période de charge.

Suite de cycles de service identiques comprenant chacun un temps non négligeable de démarrage, un temps de fonctionnement à charge constante et un temps de repos et non alimenté, voir Figure 4.

L'abréviation appropriée est S4, suivie des valeurs du facteur de charge, du moment d'inertie du moteur ( $J_M$ ) et du moment d'inertie de la charge ( $J_{ext}$ ), tous deux rapportés à l'arbre du moteur.

Exemple: S4 25 %  $J_M = 0,15 \text{ kg} \times \text{m}^2$   $J_{ext} = 0,7 \text{ kg} \times \text{m}^2$



#### Légende

$P$	charge	$t$	temps
$P_V$	pertes électriques	$T_C$	durée d'un cycle
$\Theta$	température	$\Delta t_D$	durée de démarrage/accélération
$\Theta_{max}$	température maximale atteinte	$\Delta t_P$	durée de fonctionnement à charge constante
		$\Delta t_R$	durée au repos

Facteur de marche =  $(\Delta t_D + \Delta t_P)/T_C$

Figure 4 – Service intermittent périodique à démarrage – Service type S4

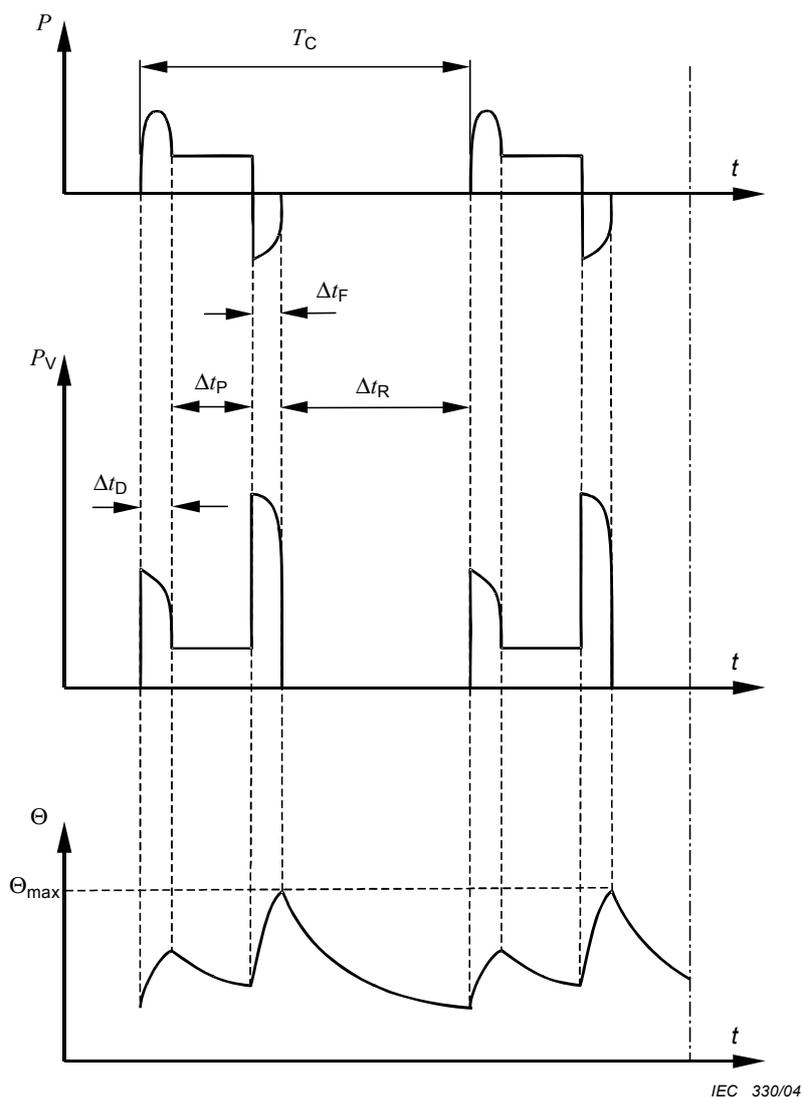
### 4.2.5 Service type S5 – Service intermittent périodique à freinage électrique

NOTE Un service type périodique implique que l'équilibre thermique n'est pas atteint pendant la période de charge.

Suite de cycles de service identiques comprenant chacun un temps de démarrage, un temps de fonctionnement à charge constante, un temps de freinage électrique et un temps de repos et non alimenté, voir Figure 5.

L'abréviation appropriée est S5, suivie des valeurs du facteur de marche, du moment d'inertie du moteur ( $J_M$ ) et du moment d'inertie de la charge ( $J_{ext}$ ), tous deux rapportés à l'arbre du moteur.

Exemple: S5 25 %  $J_M = 0,15 \text{ kg} \times \text{m}^2$   $J_{ext} = 0,7 \text{ kg} \times \text{m}^2$



#### Légende

$P$	charge	$T_C$	durée d'un cycle
$P_V$	pertes électriques	$\Delta t_D$	durée de démarrage/accélération
$\Theta$	température	$\Delta t_P$	durée de fonctionnement à charge constante
$\Theta_{max}$	température maximale atteinte	$\Delta t_F$	durée de freinage électrique
$t$	temps	$\Delta t_R$	durée au repos

Facteur de marche  $(\Delta t_D + \Delta t_P + \Delta t_F)/T_C$

Figure 5 – Service intermittent périodique à freinage électrique – Service type S5

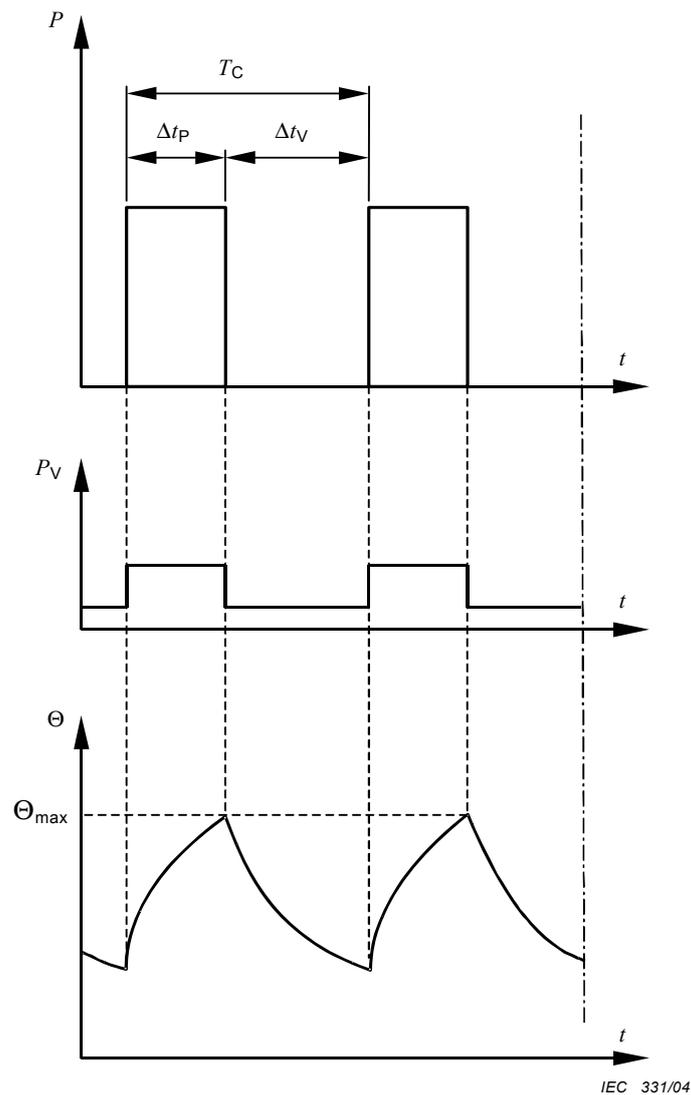
#### 4.2.6 Service type S6 – Service ininterrompu périodique

NOTE Un service type périodique implique que l'équilibre thermique n'est pas atteint pendant la période de charge.

Suite de cycles de service identiques comprenant chacun un temps de fonctionnement à charge constante et un temps de fonctionnement à vide. Il n'y a pas de temps de repos et hors alimentation, voir Figure 6.

L'abréviation appropriée est S6, suivie de la valeur du facteur de marche.

Exemple: S6 40 %



#### Légende

$P$	charge	$t$	temps
$P_V$	pertes électriques	$T_C$	durée d'un cycle
$\Theta$	température	$\Delta t_P$	durée de fonctionnement à charge constante
$\Theta_{\max}$	température maximale atteinte	$\Delta t_V$	durée de fonctionnement à vide
Facteur de marche $\Delta t_P/T_C$			

**Figure 6 – Service ininterrompu périodique à charge intermittente – Service type S6**

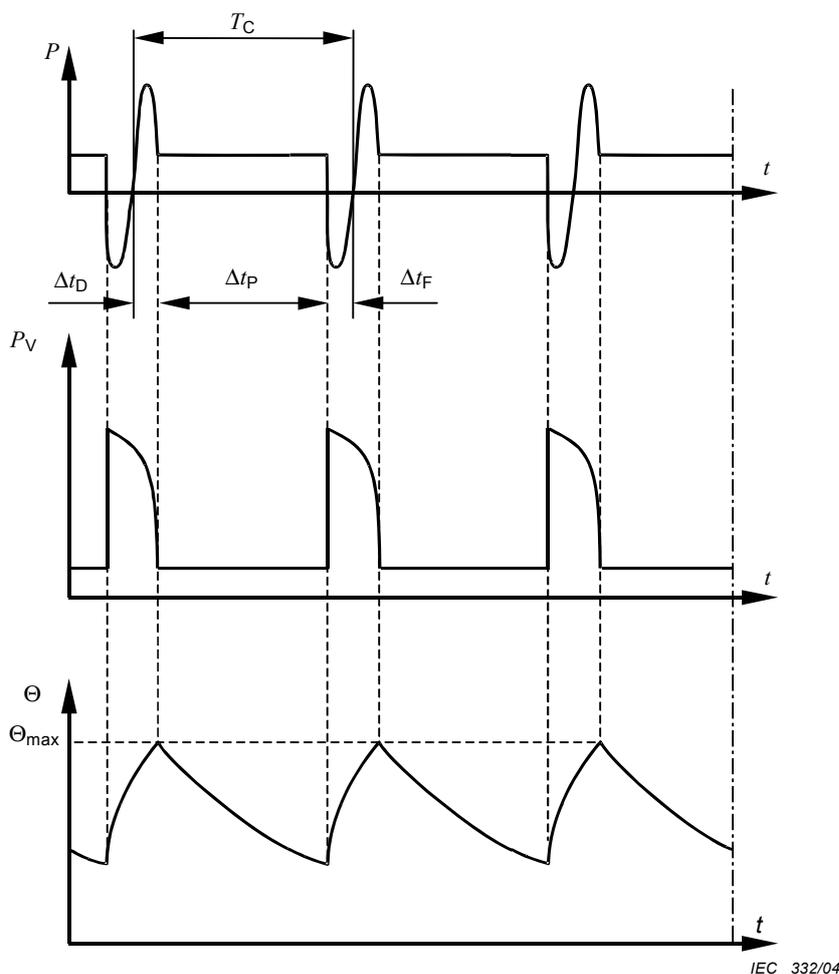
### 4.2.7 Service type S7 – Service ininterrompu périodique à freinage électrique

NOTE Un service type périodique implique que l'équilibre thermique n'est pas atteint pendant la période de charge.

Suite de cycles de service identiques comprenant chacun un temps de démarrage, un temps de fonctionnement à charge constante et un temps de freinage électrique. Il n'y a pas de temps de repos et non alimenté, voir Figure 7.

L'abréviation appropriée est S7 suivie des valeurs du moment d'inertie du moteur ( $J_M$ ) et du moment d'inertie de la charge ( $J_{ext}$ ), tous deux rapportés à l'arbre du moteur.

Exemple: S7  $J_M = 0,4 \text{ kg} \times \text{m}^2$   $J_{ext} = 7,5 \text{ kg} \times \text{m}^2$



#### Légende

$P$	charge	$t$	temps
$P_V$	pertes électriques	$T_C$	durée d'un cycle
$\Theta$	température	$\Delta t_D$	durée de démarrage/accélération
$\Theta_{max}$	température maximale atteinte	$\Delta t_P$	durée de fonctionnement à charge constante
Facteur de marche = 1		$\Delta t_F$	durée de freinage électrique

Figure 7 – Service ininterrompu périodique à freinage électrique – Service type S7

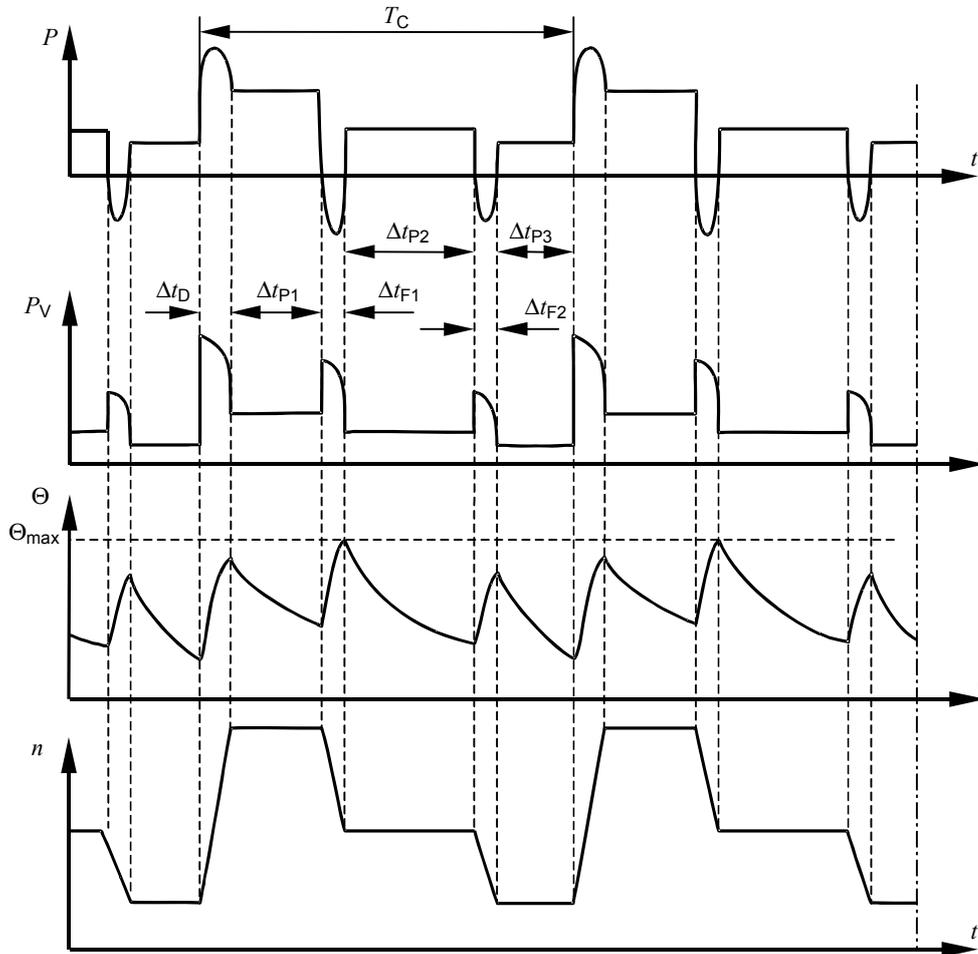
#### 4.2.8 Service type S8 - Service ininterrompu périodique à changements liés de charge et de vitesse

NOTE Un service type périodique implique que l'équilibre thermique n'est pas atteint pendant la période de charge.

Suite de cycles de service identiques comprenant chacun un temps de fonctionnement à charge constante correspondant à une vitesse de rotation prédéterminée, suivie d'un ou plusieurs temps de fonctionnement à d'autres charges constantes correspondant à différentes vitesses de rotation (réalisées par exemple par changement du nombre de pôles dans le cas des moteurs à induction). Il n'y a pas de temps de repos (voir Figure 8).

L'abréviation appropriée est S8 suivie des valeurs du moment d'inertie du moteur ( $J_M$ ) et du moment d'inertie de la charge ( $J_{ext}$ ), tous deux rapportés à l'arbre du moteur, de même que de la charge, de la vitesse et du facteur de marche pour chacun des régimes caractérisés par une vitesse.

Exemple:	S8 $J_M = 0,5 \text{ kg} \times \text{m}^2$	$J_{ext} = 6 \text{ kg} \times \text{m}^2$	16 kW	740 $\text{min}^{-1}$	30 %
			40 kW	1 460 $\text{min}^{-1}$	30 %
			25 kW	980 $\text{min}^{-1}$	40 %



IEC 333/04

**Légende**

$P$	charge	$t$	temps
$P_V$	pertes électriques	$T_C$	durée d'un cycle
$\Theta$	température	$\Delta t_D$	durée de démarrage/accélération
$\Theta_{max}$	température maximale atteinte	$\Delta t_P$	durée de fonctionnement à charge constante (P1, P2, P3)
$n$	vitesse	$\Delta t_F$	durée de freinage électrique (F1, F2)

Facteur de marche  $(\Delta t_D + \Delta t_{P1})/T_C$ ;  $(\Delta t_{F1} + \Delta t_{P2})/T_C$ ;  $(\Delta t_{F2} + \Delta t_{P3})/T_C$

**Figure 8 – Service ininterrompu périodique à changements liés de charge et de vitesse – Service type S8**

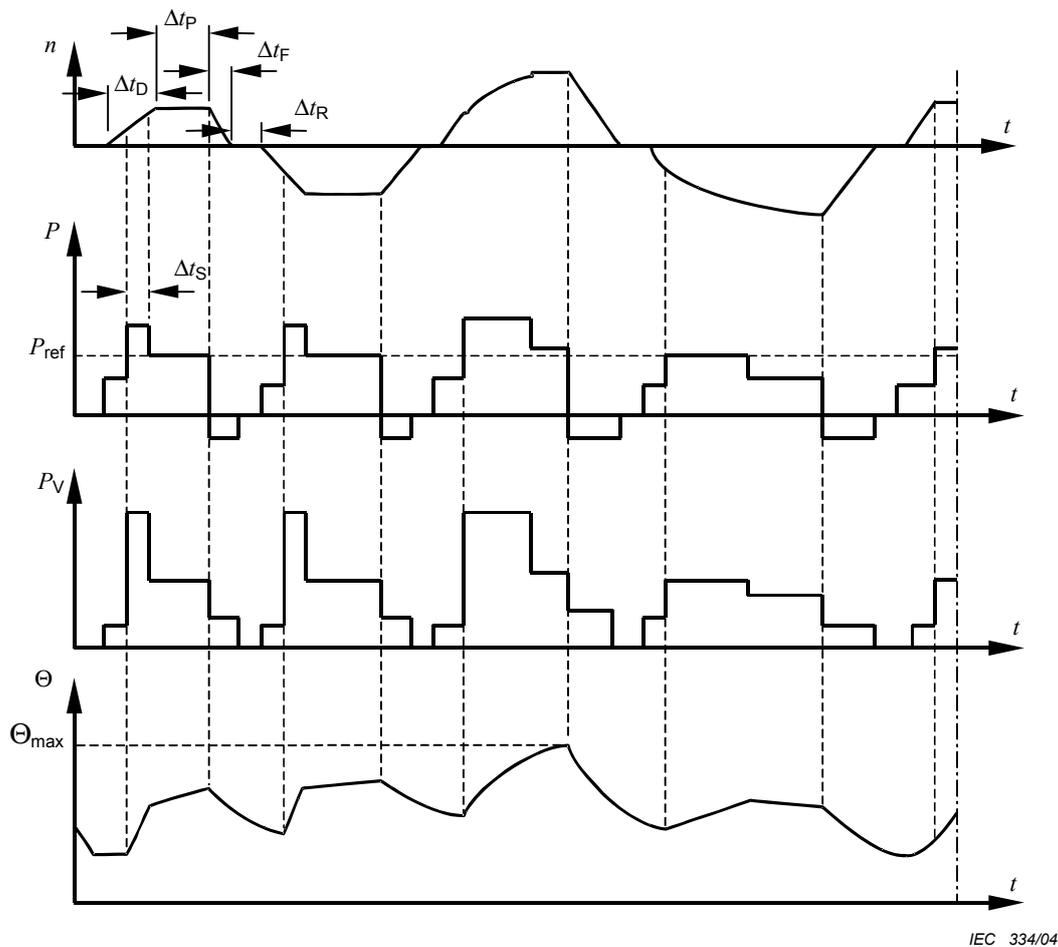
COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

#### 4.2.9 Service type S9 – Service à variations non périodiques de charge et de vitesse

Service dans lequel généralement la charge et la vitesse ont une variation non périodique dans la plage de fonctionnement admissible. Ce service inclut fréquemment des surcharges appliquées qui peuvent être largement supérieures à la charge de référence (voir Figure 9).

L'abréviation appropriée est S9.

Pour ce service type, une charge constante, judicieusement choisie et basée sur le service type S1, est prise comme valeur de référence (« $P_{ref}$ » dans la Figure 9) pour la notion de surcharge.



#### Légende

$P$	charge	$t$	temps
$P_{ref}$	charge de référence	$\Delta t_D$	durée de démarrage/accélération
$P_V$	pertes électriques	$\Delta t_P$	durée de fonctionnement à charge constante
$\Theta$	température	$\Delta t_F$	durée de freinage électrique
$\Theta_{max}$	température maximale atteinte	$\Delta t_R$	durée au repos
$n$	vitesse	$\Delta t_S$	durée de fonctionnement en surcharge

Figure 9 – Service à variations non périodique de charge et de vitesse – Service type S9

#### 4.2.10 Service type S10 – Service avec charges et vitesses constantes distinctes

Service comprenant un nombre spécifique de valeurs distinctes de charge (ou charges équivalentes), et de vitesse si applicable, chaque combinaison charge/vitesse étant maintenue pendant une durée suffisante pour permettre à la machine d'atteindre l'équilibre thermique, voir Figure 10. La charge minimale pendant un cycle de service peut avoir la valeur zéro (fonctionnement à vide ou temps de repos et non alimenté).

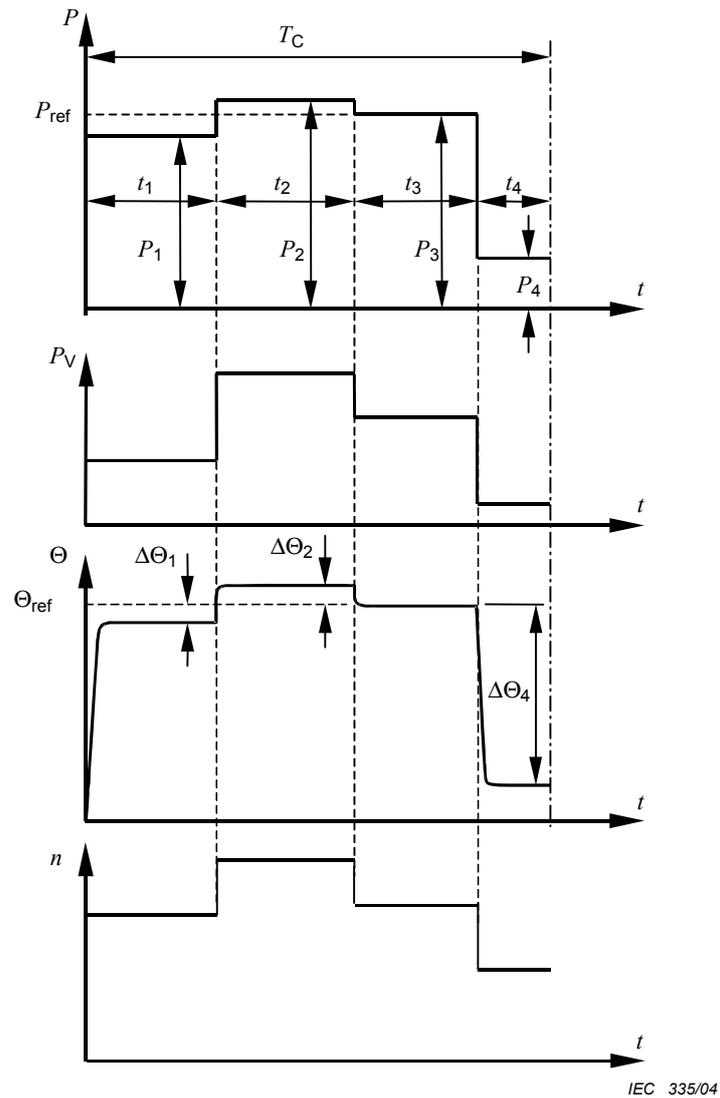
L'abréviation appropriée est S10, suivie des valeurs réduites (p.u.)  $p/\Delta t$  pour les différentes charges et leurs durées respectives, et de la valeur réduite (p.u.)  $TL$  pour l'espérance de vie thermique relative du système d'isolation. La valeur de référence pour l'espérance de vie thermique est l'espérance de vie thermique aux caractéristiques assignées pour service continu et aux limites admissibles d'échauffement basées sur le service type S1. Pour un temps de repos et non alimenté, la charge doit être indiquée par la lettre  $r$ .

Exemple: S10  $p/\Delta t = 1,1/0,4; 1/0,3; 0,9/0,2; r/0,1$       $TL = 0,6$

Il convient d'arrondir la valeur de  $TL$  au plus proche multiple de 0,05. L'Annexe A donne des indications sur la signification de ce paramètre et la détermination de sa valeur.

Pour ce service type, une charge constante, judicieusement choisie et basée sur le service type S1, doit être prise comme valeur de référence (« $P_{ref}$ » dans la Figure 10) pour les charges distinctes.

NOTE Les valeurs distinctes de charges seront habituellement des charges équivalentes obtenues par intégration en fonction du temps. Il n'est pas nécessaire que chaque cycle de charge soit exactement le même, à condition que chaque charge à l'intérieur d'un cycle soit appliquée pendant une période suffisante pour que l'équilibre thermique soit atteint et que chaque cycle de charge puisse être intégré pour donner la même espérance de vie thermique relative.



IEC 335/04

**Légende**

$P$	charge	$t$	temps
$P_i$	charge constante pendant un cycle	$t_i$	durée d'une charge constante pendant un cycle
$P_{ref}$	charge de référence basée sur le service type S1	$T_C$	durée d'un cycle
$P_V$	pertes électriques	$\Delta\Theta_i$	différence entre l'échauffement de l'enroulement au cours de chacune des charges pendant un cycle et l'échauffement basé sur le service type S1 à la charge référence
$\Theta$	température	$n$	vitesse
$\Theta_{ref}$	température à la charge de référence basée sur le service type S1		

**Figure 10 – Service avec charges constantes distinctes – Service type S10**

## **5 Caractéristiques assignées**

### **5.1 Attribution des caractéristiques assignées**

Les caractéristiques assignées, définies en 3.2, doivent être attribuées par le constructeur. En attribuant les caractéristiques assignées, le constructeur doit choisir l'une des classes de caractéristiques assignées définies de 5.2.1 à 5.2.6. La désignation de la classe des caractéristiques assignées doit être écrite après la puissance assignée. Si aucune désignation n'est stipulée, les caractéristiques assignées pour service continu sont applicables.

Quand des composants auxiliaires (tels que des bobines d'inductance, des condensateurs, etc.) sont insérés par le fabricant en tant qu'éléments de la machine, les valeurs assignées doivent se rapporter aux bornes d'alimentation de l'ensemble complet.

NOTE Cela ne s'applique pas aux transformateurs de puissance connectés entre la machine et l'alimentation.

Une attention spéciale est demandée lors de l'attribution de caractéristiques assignées à des machines alimentées par, ou alimentant, des convertisseurs statiques. La CEI 60034-17 donne des conseils pour le cas des moteurs à induction à cage couverts par la CEI 60034-12.

### **5.2 Classes de caractéristiques assignées**

#### **5.2.1 Caractéristiques assignées pour service continu**

Caractéristiques assignées auxquelles la machine peut fonctionner pendant une durée illimitée et conformément aux exigences de la présente norme.

Cette classe de caractéristiques assignées correspond au service type S1 et est désignée comme le service type S1.

#### **5.2.2 Caractéristiques assignées pour service temporaire**

Caractéristiques assignées auxquelles la machine peut fonctionner pendant une durée limitée, en démarrant à la température ambiante et conformément aux exigences de la présente norme.

Cette classe de caractéristiques assignées correspond au service type S2 et est désignée comme le service type S2.

#### **5.2.3 Caractéristiques assignées pour service périodique**

Caractéristiques assignées auxquelles la machine peut fonctionner suivant des cycles de service, conformément aux exigences de la présente norme.

Cette classe de caractéristiques assignées correspond à l'un des services types périodiques S3 à S8 et est désignée comme le service type correspondant.

Sauf spécifications contraires, la durée d'un cycle de service doit être de 10 min et le facteur de marche doit avoir l'une des valeurs suivantes:

15 %, 25 %, 40 %, 60 %.

#### **5.2.4 Caractéristiques assignées pour service non périodique**

Caractéristiques assignées auxquelles la machine peut fonctionner de façon non périodique, conformément aux exigences de la présente norme.

Cette classe de caractéristiques assignées correspond au service type non périodique S9 et est désignée comme le service type S9.

### **5.2.5 Caractéristiques assignées pour service avec charges et vitesses constantes distinctes**

Caractéristiques assignées auxquelles la machine peut fonctionner avec l'association des charges et des vitesses du service type S10, pendant une durée illimitée tout en satisfaisant aux exigences de la présente norme. La charge maximale admissible dans un cycle doit prendre en considération tous les éléments de la machine, par exemple le système d'isolation en ce qui concerne la validité de la loi exponentielle pour l'espérance de vie thermique relative, les paliers en ce qui concerne la température, d'autres éléments en ce qui concerne la dilatation thermique. Sauf spécifications dans d'autres normes de la CEI, la charge maximale ne dépassera pas 1,15 fois la valeur de la charge basée sur le service type S1. La charge minimale peut avoir la valeur zéro quand la machine fonctionne à vide ou est au repos. Des informations concernant l'application de cette classe de caractéristiques assignées sont données en Annexe A.

Cette classe de caractéristiques assignées correspond au service type S10 et est désignée comme le service type S10.

NOTE D'autres normes appropriées de la CEI peuvent spécifier la charge maximale en termes de limitation de la température (ou d'échauffement) d'enroulement au lieu d'une valeur relative de la charge basée sur le service type S1.

### **5.2.6 Caractéristiques assignées pour charge équivalente**

Caractéristiques assignées auxquelles, à des fins d'essais, la machine peut fonctionner à charge constante jusqu'à ce que l'équilibre thermique soit atteint et qui conduisent au même échauffement de l'enroulement statorique que l'échauffement moyen pendant un cycle en charge pour le service type spécifié.

NOTE Pour déterminer des caractéristiques assignées du type équivalent, il convient de prendre en compte les charge, vitesse et refroidissement variables du cycle de service.

Le cas échéant, cette classe de caractéristiques assignées est désignée par «équ».

## **5.3 Choix d'une classe de caractéristiques assignées**

Une machine construite en vue d'un usage général doit avoir des caractéristiques assignées pour service continu et être capable de fonctionner en service type S1.

Si le service n'a pas été spécifié par l'acheteur, le service type S1 est applicable et les caractéristiques assignées doivent être des caractéristiques assignées pour service continu.

Lorsqu'une machine est prévue pour des caractéristiques assignées pour service temporaire, les caractéristiques assignées doivent être basées sur le service type S2, voir 4.2.2.

Lorsqu'une machine est prévue pour fonctionner à des charges variables ou des charges comprenant un temps de fonctionnement à vide ou des temps pendant lesquels la machine est à l'état de repos et non alimentée, les caractéristiques assignées doivent être des caractéristiques assignées pour service périodique basées sur un service type périodique choisi parmi les services types S3 à S8, voir 4.2.3 à 4.2.8.

Lorsqu'une machine est prévue pour fonctionner de façon non périodique à des charges variables à des vitesses variables, y compris à des surcharges, les caractéristiques assignées doivent être des caractéristiques assignées pour service non périodique basées sur le service type S9, voir 4.2.9.

Lorsqu'une machine est prévue pour fonctionner à des charges constantes distinctes comprenant des temps de surcharge ou des temps de marche à vide (ou de repos) les caractéristiques assignées doivent être des caractéristiques assignées pour service avec charges constantes distinctes basées sur le service type S10, voir 4.2.10.

#### **5.4 Attribution de la puissance à une classe de caractéristiques assignées**

Dans la détermination des caractéristiques assignées:

Pour les services types S1 à S8, la ou les valeurs spécifiées des charges constantes doivent être les puissances assignées; voir 4.2.1 à 4.2.8.

Pour les services types S9 et S10, la valeur de référence de la charge basée sur le service type S1 doit être prise comme puissance assignée, voir 4.2.9 et 4.2.10.

#### **5.5 Puissance assignée**

##### **5.5.1 Génératrices de courant continu**

La puissance assignée est la puissance aux bornes; elle doit être exprimée en watts (W).

##### **5.5.2 Alternateurs**

La puissance assignée est la puissance électrique apparente aux bornes; elle doit être exprimée en voltampères (VA), complétée par l'indication du facteur de puissance.

Le facteur de puissance assigné des alternateurs synchrones doit être de 0,8 surexcité, sauf spécification contraire de l'acheteur.

##### **5.5.3 Moteurs**

La puissance assignée est la puissance mécanique disponible sur l'arbre; elle doit être exprimée en watts (W).

NOTE Il est d'usage dans de nombreux pays d'exprimer aussi la puissance mécanique disponible sur l'arbre en chevaux (1 h.p. est équivalent à 745,7 W; 1 ch est équivalent à 736 W).

##### **5.5.4 Compensateurs synchrones**

La puissance assignée est la puissance réactive aux bornes; elle doit être exprimée en voltampères réactifs (var) en régime sous-excité et en régime surexcité.

#### **5.6 Tension assignée**

##### **5.6.1 Génératrices de courant continu**

Pour les génératrices de courant continu prévues pour fonctionner dans une plage de tensions d'étendue relativement faible, la puissance assignée et le courant assigné doivent, sauf spécification contraire, être applicables à la limite supérieure de la plage de tensions, voir également 7.3.

##### **5.6.2 Alternateurs**

Pour les alternateurs prévus pour fonctionner dans une plage de tensions d'étendue relativement faible, la puissance assignée et le facteur de puissance assigné doivent, sauf spécification contraire, être applicables à toute tension de la plage (voir également 7.3).

## 5.7 Coordination des tensions et des puissances

En pratique on ne construit pas des machines de toutes caractéristiques assignées pour toutes les tensions assignées. En général, pour les machines à courant alternatif, en se basant sur des considérations de conception et de fabrication, les tensions assignées préférables supérieures à 1 kV sont indiquées dans le Tableau 1, en fonction des puissances assignées.

**Tableau 1 – Tensions assignées préférables**

Tension assignée kV	Puissance assignée minimale kW (ou kVA)
$1,0 < U_N \leq 3,0$	100
$3,0 < U_N \leq 6,0$	150
$6,0 < U_N \leq 11,0$	800
$11,0 < U_N \leq 15,0$	2 500

## 5.8 Machines ayant plus d'un ensemble de caractéristiques assignées

Les machines prévues pour plus d'un ensemble de caractéristiques assignées doivent être conformes, à tous points de vue, à la présente norme pour chaque ensemble de caractéristiques assignées.

Pour les moteurs à plusieurs vitesses, des caractéristiques assignées doivent être attribuées pour chaque vitesse.

Quand une grandeur assignée (puissance, tension, vitesse, etc.) peut avoir plusieurs valeurs ou varier constamment entre deux limites, les caractéristiques assignées doivent être attribuées à ces valeurs ou limites. Cette disposition ne s'applique ni aux variations de tension et de fréquence en fonctionnement définies en 7.3, ni au montage étoile-triangle pour le démarrage.

## 6 Conditions de fonctionnement sur site

### 6.1 Généralités

Sauf spécifications contraires, les machines doivent être appropriées aux conditions de fonctionnement sur site données ci-dessous. Pour des conditions de fonctionnement sur site différentes de ces valeurs, des corrections sont données dans l'Article 8.

### 6.2 Altitude

L'altitude ne doit pas dépasser 1 000 m au-dessus du niveau de la mer.

### 6.3 Température maximale de l'air ambiant

La température de l'air ambiant ne doit pas dépasser 40 °C.

### 6.4 Température minimale de l'air ambiant

La température de l'air ambiant ne doit pas être inférieure à –15 °C, quelle que soit la machine.

La température de l'air ambiant ne doit pas être inférieure à 0 °C pour une machine avec:

- a) une puissance assignée supérieure à 3 300 kW (ou kVA) par 1 000 min<sup>-1</sup>;
- b) une puissance assignée inférieure à 600 W (ou VA);
- c) un collecteur;
- d) un palier à coussinet;
- e) l'eau comme fluide de refroidissement primaire ou secondaire.

### 6.5 Température de l'eau de refroidissement

Pour la température de référence de l'eau de refroidissement, voir le Tableau 4. Pour les autres températures de l'eau de refroidissement, voir le Tableau 9. La température de l'eau de refroidissement ne doit pas être inférieure à +5 °C.

### 6.6 Stockage et transport

Quand des températures inférieures à celles spécifiées en 6.4 sont susceptibles de se produire durant le transport, le stockage ou après installation, l'acheteur doit informer le constructeur et spécifier la température minimale prévue.

### 6.7 Pureté de l'hydrogène de refroidissement

Les machines refroidies à l'hydrogène doivent être capables de fonctionner à la puissance assignée dans les conditions assignées avec un fluide de refroidissement contenant au moins 95 % d'hydrogène en volume.

NOTE Pour des raisons de sécurité, il convient que la teneur en hydrogène soit toujours maintenue à 90 % ou davantage, en admettant que l'autre gaz entrant dans le mélange soit de l'air.

Pour calculer le rendement conformément à la CEI 60034-2 (toutes les parties), la composition normalisée du mélange gazeux doit être de 98 % d'hydrogène et 2 % d'air en volume, à des valeurs spécifiées de pression et de température du fluide refroidi, sauf accord contraire. Les pertes par ventilation doivent être calculées pour la densité correspondante.

## 7 Conditions de fonctionnement électriques

### 7.1 Alimentation électrique

Pour les machines triphasées, 50 Hz ou 60 Hz, destinées à être directement reliées à un réseau de distribution ou d'utilisation, les tensions assignées doivent être déduites des tensions nominales données dans la CEI 60038.

NOTE Pour les machines à courant alternatif de forte puissance à haute tension, les tensions peuvent être choisies pour l'obtention de caractéristiques de fonctionnement optimales.

Pour les moteurs à courant alternatif alimentés par convertisseurs statiques, ces restrictions sur la tension, la fréquence et la forme d'onde ne sont pas applicables. Dans ce cas le choix des tensions assignées doit se faire par accord.

### 7.2 Forme et symétrie des tensions et des courants

#### 7.2.1 Moteurs à courant alternatif

7.2.1.1 Les moteurs à courant alternatif ayant parmi leur caractéristiques assignées le fonctionnement sur une alimentation à fréquence fixe, alimentée par un alternateur (localement ou à travers un réseau de distribution) doivent pouvoir fonctionner sous une tension d'alimentation dont le facteur harmonique de tension (*HVF*) est inférieur ou égal à:

- 0,02 pour les moteurs monophasés et les moteurs triphasés, y compris les moteurs synchrones, mais en excluant les moteurs de concept N (voir la CEI 60034-12), sauf déclaration contraire du constructeur.

– 0,03 pour les moteurs de conception N.

Le *HVF* doit être calculé à partir de la formule suivante:

$$HVF = \sqrt{\sum_{n=2}^k \frac{u_n^2}{n}}$$

où

$u_n$  est le rapport de l'harmonique de tension  $U_n$  sur la tension assignée  $U_N$ ;

$n$  est le rang de l'harmonique (non divisible par trois dans le cas d'un moteur à courant alternatif triphasé);

$k = 13$ .

Les moteurs triphasés doivent être appropriés au fonctionnement sur un système de tensions dont la composante inverse ne dépasse pas 1 % de la composante directe pendant une longue période, ou 1,5 % pendant une courte période n'excédant pas quelques minutes, et dont la composante homopolaire n'excède pas 1 % de la composante directe.

Si les limites des valeurs du *HVF* et de la composante inverse et homopolaire se trouvent atteintes simultanément en service à la charge assignée, cela ne doit pas conduire à une température néfaste dans le moteur et il est recommandé que le dépassement d'échauffement qui en résulte par rapport aux limites spécifiées dans cette norme n'excède pas environ 10 K.

NOTE A proximité de fortes charges monophasées (par exemple fours à induction) et dans les zones rurales, en particulier dans le cas de réseau mixte industriel et domestique, l'alimentation peut être déformée au-delà des limites fixées ci-dessus. Une telle situation nécessite de prendre des dispositions spéciales.

**7.2.1.2** Les moteurs à courant alternatif alimentés par convertisseurs statiques doivent supporter un taux supérieur d'harmoniques de la tension d'alimentation; voir la CEI 60034-17 pour le cas des moteurs à cage couverts par la CEI 60034-12.

NOTE Si la tension d'alimentation est notablement non sinusoïdale, par exemple dans le cas d'alimentation par convertisseur statique, la valeur efficace de la forme d'onde totale et celle de l'onde fondamentale sont toutes deux appropriées pour la détermination des caractéristiques de fonctionnement d'une machine à courant alternatif.

## 7.2.2 Alternateurs

Les alternateurs triphasés doivent être appropriés pour l'alimentation de circuits qui alimentés par un système de tensions équilibrées et sinusoïdales:

- conduisent à des courants ne dépassant pas un facteur de courant harmonique (*HCF*) de 0,05, et
- conduisent à un système de courants où ni la composante inverse, ni la composante homopolaire n'excèdent 5 % de la composante directe.

Le *HCF* doit être calculé à partir de la formule suivante:

$$HCF = \sqrt{\sum_{n=2}^k i_n^2}$$

où

$i_n$  est le rapport de l'harmonique de courant  $I_n$  sur le courant assigné  $I_N$ ;

$n$  est le rang de l'harmonique;

$k = 13$ .

Si les limites de déformation et de déséquilibre se trouvent atteintes simultanément en service à la charge assignée, cela ne doit pas conduire à une température néfaste dans l'alternateur et il est recommandé que le dépassement d'échauffement qui en résulte par rapport aux limites spécifiées dans cette norme n'excède pas environ 10 K.

### 7.2.3 Machines synchrones

Sauf spécification contraire, les machines synchrones triphasées doivent être capables de fonctionner en permanence sur un réseau dissymétrique tel que, aucun des courants de phase ne dépassant le courant assigné, le rapport de la composante inverse du système de courants ( $I_2$ ) au courant assigné ( $I_N$ ) ne dépasse pas les valeurs du Tableau 2, et de fonctionner, en cas de défaut à des valeurs du produit de  $(I_2/I_N)^2$  par le temps ( $t$ ) ne dépassant pas les valeurs du Tableau 2.

**Tableau 2 – Conditions de fonctionnement déséquilibrées pour les machines synchrones**

Point	Type de machines	Valeur maximale $I_2/I_N$ pour un fonctionnement permanent	Valeur maximale $(I_2/I_N)^2 \times t$ en secondes pour fonctionnement en régime de défaut
Machines à pôles saillants			
1	Enroulements à refroidissement indirect		
	moteurs	0,1	20
	génératrices	0,08	20
	compensateurs synchrones	0,1	20
2	Enroulements à refroidissement direct (refroidissement interne) au stator et/ou à l'inducteur		
	moteurs	0,08	15
	génératrices	0,05	15
	compensateurs synchrones	0,08	15
Machines synchrones à rotor lisse			
3	Enroulements rotor à refroidissement indirect		
	par air	0,1	15
	par hydrogène	0,1	10
4	Enroulements rotor à refroidissement direct (refroidissement interne)		
	≤350 MVA	0,08	8
	>350 ≤900 MVA	a	b
	>900 ≤1 250 MVA	a	5
	>1 250 ≤1 600 MVA	0,05	5

a Pour ces machines, la valeur  $I_2/I_N$  est calculée comme suit:

$$\frac{I_2}{I_N} = 0,08 - \frac{S_N - 350}{3 \times 10^4}$$

b Pour ces machines, la valeur  $(I_2/I_N)^2 \times t$ , en secondes, est calculée comme suit:

$$(I_2/I_N)^2 \times t = 8 - 0,005 45 (S_N - 350)$$

où (dans les deux notes en bas de tableau)  $S_N$  est la puissance apparente assignée en mégavoltampères MVA.

#### 7.2.4 Moteurs à courant continu alimentés par convertisseurs statiques de puissance

Dans le cas d'un moteur à courant continu alimenté par un convertisseur statique de puissance, la forme d'ondulation de la tension et du courant influent sur les caractéristiques de fonctionnement de la machine. Les pertes et l'échauffement vont s'accroître et la commutation sera plus difficile qu'avec un moteur à courant continu alimenté par une source de courant continu pur.

En conséquence, pour les moteurs de puissance assignée supérieure à 5 kW destinés à être alimentés par un convertisseur statique de puissance, il est nécessaire de concevoir leur fonctionnement à partir d'une alimentation spécifiée et si le constructeur du moteur le juge nécessaire, avec une inductance externe prévue pour réduire l'ondulation.

L'alimentation par convertisseur statique de puissance doit être caractérisée au moyen d'un code d'identification comme suit:

$$[CCC - U_{aN} - f - L]$$

où

*CCC* est le code d'identification de connexion du convertisseur conformément à la CEI 60971;

*U<sub>aN</sub>* est constitué de trois ou quatre chiffres indiquant la valeur assignée de la tension alternative aux bornes d'entrée du convertisseur, en V;

*f* est constitué de deux chiffres indiquant la fréquence assignée aux bornes d'entrée, en Hz;

*L* est constitué de un, deux ou trois chiffres indiquant la valeur de l'inductance série à ajouter extérieurement au circuit d'induit du moteur, en mH. Si cette valeur est égale à zéro, elle est omise.

Les moteurs de puissance assignée inférieure à égale à 5 kW, au lieu d'être liés à un type spécifique de convertisseur statique de puissance, peuvent être conçus pour une utilisation avec tout convertisseur statique de puissance, avec ou sans inductance extérieure, pourvu que la valeur assignée du facteur de forme pour lequel le moteur est conçu ne soit pas dépassée et que le niveau d'isolation du circuit d'induit du moteur soit adapté à la valeur assignée de la tension alternative aux bornes d'entrée du convertisseur statique de puissance.

Dans tous les cas, l'ondulation du courant fourni par le convertisseur statique de puissance est présumée être assez faible pour qu'il en résulte un facteur d'ondulation du courant inférieur à 0,1 dans les conditions assignées.

#### 7.3 Variations de tension et de fréquence en fonctionnement

Pour les machines à courant alternatif ayant parmi leurs caractéristiques assignées le fonctionnement sur une alimentation à fréquence fixe, alimentée par un alternateur (localement ou à travers un réseau de distribution), les combinaisons des variations de tension et de fréquence sont classées en zone A ou en zone B, conformément à la Figure 11 pour les alternateurs et les compensateurs synchrones et à la Figure 12 pour les moteurs.

Pour les machines à courant continu reliées directement à une alimentation à courant continu normalement constante, les zones A et B s'appliquent uniquement aux tensions.

Une machine doit être capable d'assurer sa fonction principale comme spécifié au Tableau 3 de façon continue à l'intérieur de la zone A, mais peut ne pas satisfaire complètement à ses caractéristiques de fonctionnement à tension et fréquence assignées (voir le point des caractéristiques assignées sur les Figures 11 et 12), et présenter certains écarts. Les échauffements peuvent être supérieurs à ceux à tension et fréquence assignées.

Une machine doit être capable d'assurer sa fonction principale à l'intérieur de la zone B, mais peut présenter des écarts supérieurs à ceux de la zone A par rapport à ses caractéristiques de fonctionnement à tension et fréquence assignées. Les échauffements peuvent être supérieurs à ceux à tension et fréquence assignées et seront très probablement supérieurs à ceux de la zone A. Un fonctionnement prolongé à la périphérie de la zone B n'est pas recommandé.

NOTE 1 Dans des applications et conditions de fonctionnement pratiques, une machine sera parfois sollicitée pour fonctionner à l'extérieur du périmètre de la zone A. Il est recommandé de limiter de tels écarts en valeur, durée et fréquence d'apparition. Si possible, il convient de prendre des mesures correctives dans un délai raisonnable, par exemple une réduction de puissance. De telles interventions peuvent éviter une réduction de la durée de vie de la machine due aux effets de la température.

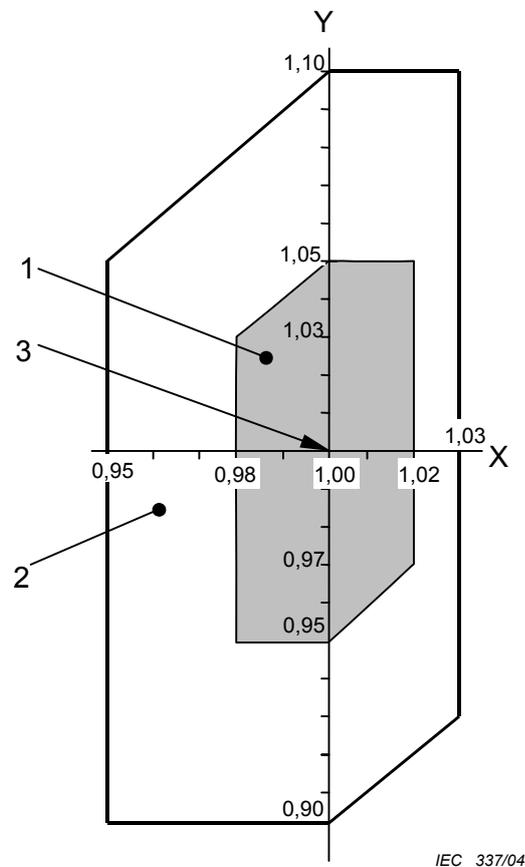
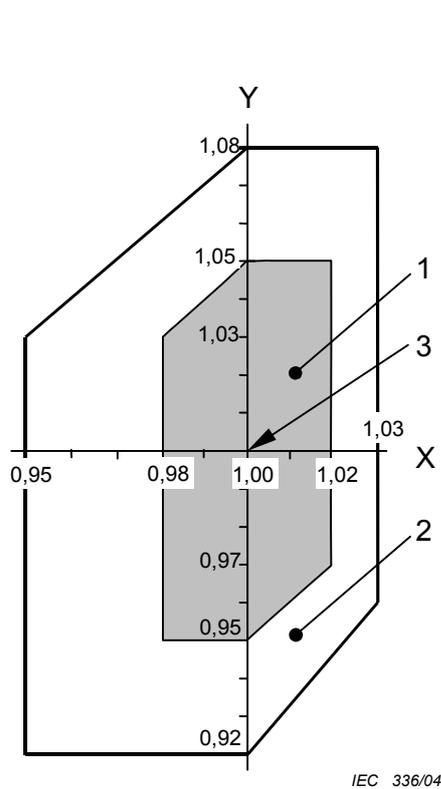
NOTE 2 Les limites d'échauffement ou les limites de température conformes à la présente norme sont applicables au point des caractéristiques assignées et peuvent être progressivement dépassées si le point de fonctionnement s'écarte du point des caractéristiques assignées. Pour des conditions aux limites extrêmes de la zone A, les échauffements et températures dépassent habituellement d'environ 10 K les limites spécifiées dans la présente norme.

NOTE 3 Un moteur à courant alternatif ne démarrera à la limite inférieure de tension que si son couple de démarrage est approprié au couple résistant de la charge, mais cela ne constitue pas une exigence du présent article. Pour les caractéristiques de démarrage des moteurs de conception N, voir la CEI 60034-12.

NOTE 4 Des limites de tension et de fréquence différentes s'appliquent dans le cas des machines couvertes par la CEI 60034-3.

**Tableau 3 – Fonctions principales des machines**

Point	Type de machines	Fonction principale
1	Alternateur, hors point 5	Puissance assignée apparente (kVA), au facteur de puissance assigné s'il est à commande séparée
2	Moteur à courant alternatif, hors points 3 et 5	Couple assigné (Nm)
3	Moteur synchrone, hors point 5	Couple assigné (Nm) avec l'excitation maintenant soit le courant d'excitation assigné, soit le facteur de puissance assigné, lorsque celui-ci peut être commandé séparément
4	Compensateur synchrone, hors point 5	Puissance apparente assignée (kVA) à l'intérieur de la zone applicable à une génératrice sauf accord contraire, voir Figure 11
5	Turbo-alternateur de puissance assignée $\geq 10$ MVA	Voir la CEI 60034-3
6	Génératrice à courant continu	Puissance assignée (kW)
7	Moteur à courant continu	Couple assigné (Nm) avec l'excitation d'un moteur shunt maintenant une vitesse assignée, lorsque celle-ci peut-être commandée séparément



#### Légende

axe X fréquence p.u.  
axe Y tension p.u.

1 zone A  
2 zone B (extérieure à zone A)  
3 point des caractéristiques assignées

**Figure 11 – Valeurs limites de tension et fréquence pour les alternateurs**

**Figure 12 – Valeurs limites de tension et fréquence pour les moteurs**

#### 7.4 Machines triphasées fonctionnant sur réseaux isolés

Les machines triphasées doivent être capables de fonctionner en marche continue avec le neutre à un potentiel proche ou égal à celui de la terre. Elles doivent être aussi capables de fonctionner sur des réseaux isolés ayant une phase au potentiel de la terre pendant des périodes de courtes durées très peu fréquentes, par exemple telles que nécessaires pour affranchir normalement le défaut. S'il est prévu de faire fonctionner la machine en permanence, ou pendant de longues périodes, dans ces conditions, il est indispensable de prévoir une machine spéciale avec le niveau d'isolement approprié.

Si les enroulements n'ont pas une isolation identique aux extrémités côté phase et côté neutre, cela doit être spécifié par le constructeur.

NOTE Il convient que la mise à la terre ou l'interconnexion des points neutres de machines ne soit jamais effectuée sans consultation des constructeurs des machines, ceci du fait des dangers de circulation de courants homopolaires de toutes fréquences dans certaines conditions de fonctionnement et des risques d'incidents mécaniques sur les enroulements lors de défauts entre phase et neutre.

### **7.5 Niveaux de tenue en tension (crête et gradient)**

Pour les moteurs à courant alternatif, le fabricant doit spécifier une valeur limite pour les crêtes de tension et les gradients de tension, en fonctionnement permanent.

Pour les moteurs à induction à cage couverts par la CEI 60034-12, voir aussi la CEI 60034-17.

Pour les moteurs à courant alternatif à haute tension, voir aussi la CEI 60034-15.

Pour les lignes de fuite et les distances d'isolement du cuivre nu sous tension, voir la CEI 60664-1.

## **8 Caractéristiques thermiques de fonctionnement et essais thermiques**

### **8.1 Classification thermique**

Une classification thermique conforme à la CEI 60085 doit être attribuée aux systèmes d'isolation utilisés dans les machines.

Il est de la responsabilité du constructeur de la machine d'interpréter les résultats obtenus par l'essai d'endurance thermique en accord avec la partie concernée de la CEI 60034-18.

NOTE 1 Il est recommandé de ne pas présumer une relation directe entre la classification thermique d'un nouveau système d'isolation et l'aptitude thermique des différents matériaux qui le constituent.

NOTE 2 L'utilisation continue d'un système d'isolation existant est acceptable si ce dernier a été éprouvé par expérience confirmant son fonctionnement satisfaisant.

### **8.2 Fluide de refroidissement de référence**

Le fluide de refroidissement de référence, pour une méthode donnée de refroidissement, est spécifié dans le Tableau 4.

**Tableau 4 – Fluide de refroidissement de référence (voir aussi le Tableau 10)**

Point	Fluide de refroidissement primaire	Mode de refroidissement	Fluide de refroidissement secondaire	Tableau n°	Le tableau cité en colonne 5 spécifie des limites à:	Fluide de refroidissement de référence
1	Air	Indirect	Aucun	7	L'échauffement	Air ambiant
2	Air	Indirect	Air	7		Température de référence: 40 °C
3	Air	Indirect	Eau	7		Fluide de refroidissement à l'entrée dans la machine ou eau ambiante Température de référence du gaz de refroidissement à l'entrée de la machine: 40 °C Température de référence de l'eau ambiante: 25 °C (voir note)
4	Hydrogène	Indirect	Eau	8		
5	Air	Direct	Aucun	12	La température	Air ambiant
6	Air	Direct	Air	12		Température de référence: 40 °C
7	Air	Direct	Eau	12		Gaz à l'entrée dans la machine ou liquide à l'entrée dans l'enroulement  Température de référence: 40 °C
8	Hydrogène ou liquide	Direct	Eau	12		

NOTE Les caractéristiques assignées d'une machine à refroidissement indirect et à hydrorefrigérant peuvent être attribuées en se servant soit du fluide de refroidissement primaire soit du fluide de refroidissement secondaire comme fluide de refroidissement de référence (voir aussi 10.2 pour l'information à donner sur la plaque signalétique). Il convient que celles d'une machine submersible avec refroidissement par surface ou refroidissement de l'enveloppe par eau soient attribuées en utilisant le fluide de refroidissement secondaire comme fluide de référence.

Si un troisième fluide de refroidissement est utilisé, les échauffements doivent être mesurés au-dessus de la température du fluide de refroidissement primaire ou secondaire comme spécifié au Tableau 4.

NOTE La disposition et le refroidissement d'une machine peuvent être tels que plusieurs points du Tableau 4 sont applicables; en ce cas différents fluides de refroidissement de référence peuvent s'appliquer à différents enroulements.

### 8.3 Conditions des essais thermiques

#### 8.3.1 Alimentation électrique

Pendant l'essai thermique d'un moteur à courant alternatif, le HVF de l'alimentation ne doit pas dépasser 0,015 et la composante inverse du système de tensions doit être inférieure à 0,5 % de la composante directe, l'influence de la composante homopolaire étant éliminée.

Par accord, la composante inverse du système de courants peut être mesurée à la place de la composante inverse du système de tensions. La composante inverse du système de courants ne doit pas excéder 2,5 % de la composante directe.

#### 8.3.2 Température de la machine avant l'essai

Lorsque la température d'un enroulement doit être déterminée d'après l'augmentation de la résistance, la température initiale de l'enroulement, ne doit pas être différente de plus de 2 K de celle du fluide de refroidissement.

Lorsqu'une machine doit être essayée à des caractéristiques assignées pour service temporaire (service type S2), sa température au début de l'essai ne doit pas différer de plus de 5 K de la température du fluide de refroidissement.

### **8.3.3 Température du fluide de refroidissement**

L'essai de la machine peut être effectué à toute température disponible du fluide de refroidissement. Voir le Tableau 11 (pour les enroulements à refroidissement indirect) ou le Tableau 14 (pour les enroulements à refroidissement direct).

### **8.3.4 Mesurage de la température du fluide de refroidissement au cours des essais**

La valeur à adopter pour la température du fluide de refroidissement pendant un essai doit être la moyenne des lectures effectuées sur les détecteurs de température à intervalles de temps égaux pendant le dernier quart de la durée de l'essai. Pour réduire les erreurs qui peuvent provenir de la lenteur avec laquelle la température des grandes machines suit les variations de la température du fluide de refroidissement, toutes dispositions raisonnables doivent être prises pour réduire ces variations.

#### **8.3.4.1 Machines ouvertes ou machines fermées sans échangeurs de chaleur (refroidies par de l'air ou du gaz environnant)**

La température ambiante de l'air ou du gaz doit être mesurée au moyen de plusieurs détecteurs de température répartis autour et à mi-hauteur de la machine, à une distance de 1 m à 2 m de celle-ci. Chaque détecteur doit être à l'abri de toute chaleur rayonnée et des courants d'air.

#### **8.3.4.2 Machines refroidies par de l'air ou du gaz à partir d'une source éloignée à travers des conduits de ventilation et machines à échangeurs de chaleur montés séparément**

La température du fluide de refroidissement primaire doit être mesurée à l'entrée dans la machine.

#### **8.3.4.3 Machines fermées à échangeurs de chaleur montés sur la machine ou incorporés**

La température du fluide de refroidissement primaire doit être mesurée à l'entrée dans la machine. La température du fluide de refroidissement secondaire doit être mesurée à l'entrée dans l'échangeur de chaleur.

## **8.4 Echauffement d'un élément de machine**

L'échauffement d'un élément de machine,  $\Delta\theta$ , est la différence entre la température de cet élément, mesurée par la méthode appropriée, conformément à 8.5, et la température du fluide de refroidissement, mesurée conformément à 8.3.4.

Pour la comparaison avec les limites des échauffements (voir Tableau 7 ou 8) ou des températures (voir Tableau 12), lorsque cela est possible la température doit être mesurée immédiatement avant qu'on arrête la machine à la fin de l'essai thermique, comme cela est défini en 8.7.

Lorsque cela n'est pas possible, par exemple lors du mesurage direct par la méthode de variation de résistance, voir 8.6.2.3.

Pour les machines essayées à leur service périodique réel (services types S3 à S8) la température doit être prise comme étant celle au milieu de la période donnant le plus grand échauffement dans le dernier cycle de fonctionnement (mais voir aussi 8.7.3).

## **8.5 Méthodes de mesurage de la température**

### **8.5.1 Généralités**

Trois méthodes sont admises pour déterminer les températures des enroulements et des autres éléments:

- méthode par variation de résistance;
- méthode par indicateurs internes de température (IIT);
- méthode par thermomètre.

Les différentes méthodes ne doivent pas être utilisées pour un contrôle mutuel.

Pour les essais indirects voir la CEI 60034-29.

### **8.5.2 Méthode par variation de résistance**

La température des enroulements est déterminée à partir de l'augmentation de leur résistance.

### **8.5.3 Méthode par indicateurs internes de température (IIT)**

La température est mesurée au moyen d'indicateurs internes de température (par exemple thermomètres à résistances, couples thermoélectriques ou thermistances à semi-conducteurs à coefficient de température négatif) introduits dans la machine lors de la construction, en des points qui deviennent inaccessibles lorsque la machine est terminée.

### **8.5.4 Méthode par thermomètre**

La température est mesurée au moyen de thermomètres appliqués sur les surfaces accessibles de la machine terminée. Le terme «thermomètre» s'applique non seulement aux thermomètres à réservoir, mais aussi aux couples thermoélectriques et thermomètres à résistance externes non encastrés. Lorsque des thermomètres à réservoir sont utilisés en des points où il existe un champ magnétique intense, variable ou mobile, des thermomètres à alcool doivent être utilisés de préférence aux thermomètres à mercure.

## **8.6 Détermination de la température d'enroulement**

### **8.6.1 Choix de la méthode**

En général, pour mesurer la température des enroulements d'une machine, la méthode par variation de résistance, conforme à 8.5.1, doit être appliquée (mais voir aussi 8.6.2.3.3).

Pour les enroulements statoriques à courant alternatif des machines de puissance assignée égale ou supérieure à 5 000 kW (ou kVA), la méthode par indicateurs internes de température (IIT) doit être appliquée.

Pour les machines à courant alternatif de puissance assignée inférieure à 5 000 kW (ou kVA) et supérieure à 200 kW (ou kVA), le constructeur doit choisir soit la méthode par variation de résistance, soit la méthode par indicateurs internes de température (IIT), sauf accord contraire.

Pour les machines à courant alternatif de puissance assignée inférieure ou égale à 200 kW (ou kVA), le constructeur doit choisir la méthode par variation de résistance, par mesurage direct ou par méthode de superposition (voir 8.6.2.1), sauf accord contraire (mais voir aussi ci-dessous).

Pour les machines de puissance assignée inférieure ou égale à 600 W (ou VA), si les enroulements ne sont pas uniformes ou si la réalisation des connexions nécessaires entraîne

de sévères complications, la température peut être déterminée au moyen de thermomètres. Les limites d'échauffement, conformes au Tableau 7, point 1d) pour la méthode par variation de résistance doivent être appliquées.

La méthode par thermomètre est admise dans les cas suivants:

- a) lorsque la détermination de l'échauffement par variation de résistance n'est pas réalisable en pratique, comme par exemple dans le cas des bobines de commutation et enroulements compensateurs de faible résistance et, de façon générale, dans le cas des enroulements de faible résistance, notamment lorsque la résistance des jonctions et connexions représente une proportion importante de la résistance totale;
- b) enroulements en une seule couche, tournants ou fixes;
- c) lors des essais individuels sur machines fabriquées en grande série.

Pour les enroulements statoriques à courant alternatif à un seul faisceau par encoche, la méthode par indicateurs internes de température (IIT) ne doit pas être utilisée pour vérifier la conformité à la présente norme: la méthode par variation de résistance doit être appliquée.

NOTE Pour vérifier en service la température de tels enroulements, un indicateur interne placé au fond de l'encoche est de peu de valeur du fait qu'il indique principalement la température du fer. Un indicateur placé entre la bobine et la cale d'encoche suit beaucoup plus fidèlement la température de l'enroulement et est donc préférable à des fins de surveillance en fonctionnement. Puisque la température de cet endroit peut être relativement basse, il convient de déterminer par un essai d'échauffement la relation entre la température mesurée à cet endroit et la température mesurée par variation de résistance.

Pour les autres enroulements à un seul faisceau par encoche et pour les développantes, la méthode de mesure de température par IIT ne doit pas être utilisée pour vérifier la conformité à la présente norme.

Pour les enroulements d'induits à collecteurs et pour les enroulements d'excitation, la méthode par variation de résistance et la méthode par thermomètre sont admises. La méthode préférée est la méthode par variation de résistance, mais pour les enroulements d'excitation fixes des machines à courant continu à plus d'une couche, la méthode par indicateurs internes de température peut être utilisée.

## 8.6.2 Détermination par la méthode par variation de résistance

### 8.6.2.1 Mesurage

L'une des méthodes suivantes doit être utilisée.

- mesurage direct, au début et à la fin de l'essai, en utilisant un instrument ayant une gamme appropriée;
- pour enroulements à courant continu: en mesurant le courant dans l'enroulement et la tension à ses bornes, utilisant des instruments aux gammes appropriées;
- pour enroulements à courant alternatif: en injectant du courant continu dans l'enroulement, en l'absence de tension alternative.

### 8.6.2.2 Calcul

L'échauffement  $\theta_2 - \theta_a$ , peut être obtenu à partir de l'équation:

$$\frac{\theta_2 + k}{\theta_1 + k} = \frac{R_2}{R_1}$$

où

$\theta_1$  est la température (°C) de l'enroulement (froid) au moment de la mesure de la résistance initiale;

$\theta_2$  est la température (°C) de l'enroulement à la fin de l'essai;

$\theta_a$  est la température (°C) du fluide de refroidissement à la fin de l'essai thermique;

$R_1$  est la résistance de l'enroulement à la température  $\theta_1$  (froid);

$R_2$  est la résistance de l'enroulement à la fin de l'essai thermique;

$k$  est l'inverse du coefficient de variation de résistivité en fonction de la température à 0 °C du matériau conducteur.

Pour le cuivre  $k = 235$ .

Pour l'aluminium  $k = 225$  sauf spécification contraire.

Dans la pratique, il est commode de calculer l'échauffement par la formule équivalente suivante:

$$\theta_2 - \theta_a = \frac{R_2 - R_1}{R_1} \times (k + \theta_1) + \theta_1 - \theta_a$$

### 8.6.2.3 Correction pour des mesures relevées après arrêt de la machine

#### 8.6.2.3.1 Généralités

Le mesurage des températures, à la fin de l'essai thermique, par la méthode de variation de résistance exige que la machine arrive rapidement à l'arrêt. Une procédure soigneusement planifiée et un nombre approprié de personnes sont nécessaires.

#### 8.6.2.3.2 Arrêt de la machine en un temps court

Si la lecture initiale par variation de résistance est obtenue dans le délai indiqué au Tableau 5, cette lecture doit être adoptée pour la mesure de la température.

Tableau 5 – Délai

Puissance assignée ( $P_N$ ) kW ou kVA	Délai après la coupure s
$P_N \leq 50$	30
$50 < P_N \leq 200$	90
$200 < P_N \leq 5\,000$	120
$5\,000 < P_N$	Par accord

#### 8.6.2.3.3 Arrêt de la machine en un temps prolongé

Si la lecture par variation de résistance ne peut être effectuée dans le délai spécifié au Tableau 5, elle doit être faite le plus tôt possible mais dans un délai non supérieur à deux fois celui spécifié au Tableau 5, et des lectures supplémentaires doivent être effectuées à des intervalles d'environ 1 min, jusqu'au moment où ces lectures commencent à montrer une diminution sensible de leurs valeurs maximales. Une courbe de ces lectures doit être tracée en fonction du temps et extrapolée à un intervalle de temps approprié selon le Tableau 5 pour la puissance assignée de la machine. Il est recommandé de tracer une courbe semi-logarithmique, où la température figure sur l'ordonnée logarithmique. La valeur de la température ainsi obtenue doit être considérée comme la température au moment de l'arrêt de la machine. Si des mesures consécutives montrent une augmentation des températures après l'arrêt, la valeur la plus élevée doit être prise.

Si la lecture initiale par variation de résistance ne peut être effectuée qu'après un délai égal à deux fois le délai spécifié au Tableau 5, cette méthode de correction ne doit être utilisée que par accord.

#### **8.6.2.3.4 Enroulements à un faisceau par encoche**

Pour les machines à un faisceau par encoche, la méthode par variation de résistance par mesurage direct peut être appliquée si la machine parvient à l'arrêt dans le délai spécifié dans le Tableau 5. S'il faut à la machine plus de 90 s pour arriver à l'arrêt après la coupure, la méthode par superposition peut être appliquée s'il y a eu un accord préalable.

### **8.6.3 Détermination par la méthode par indicateurs internes de température (IIT)**

#### **8.6.3.1 Généralités**

Les indicateurs doivent être convenablement répartis dans l'enroulement de la machine, et le nombre des indicateurs installés ne doit pas être inférieur à six.

Il faut s'efforcer, dans toute la mesure compatible avec la sécurité, de placer les indicateurs aux différents points présumés les plus chauds de façon qu'ils soient efficacement protégés d'un contact avec le fluide de refroidissement primaire.

La lecture la plus élevée des éléments IIT doit être utilisée pour déterminer la température de l'enroulement.

NOTE Les éléments IIT ou leurs connexions peuvent présenter un défaut et donner des lectures incorrectes. En conséquence, si une ou plusieurs lectures s'avèrent, après analyse, être erratiques, il convient de les éliminer.

#### **8.6.3.2 Deux faisceaux par encoche ou plus**

Les indicateurs de température doivent être placés entre les faisceaux isolés à l'intérieur de l'encoche, aux endroits présumés les plus chauds.

#### **8.6.3.3 Un faisceau par encoche**

Les indicateurs doivent être placés entre la cale d'encoche et la partie externe de l'isolation d'enroulement, aux endroits présumés les plus chauds; voir 8.6.1.

#### **8.6.3.4 Développantes**

Les indicateurs de température doivent être placés entre deux faisceaux adjacents de développantes, aux endroits présumés les plus chauds. La partie sensible de chaque indicateur doit être en contact étroit avec la surface du faisceau et être efficacement protégée de l'influence du fluide de refroidissement; voir 8.6.1.

### **8.6.4 Détermination par la méthode du thermomètre**

Il faut s'efforcer, autant que cela est compatible avec la sécurité, de placer les thermomètres aux points présumés les plus chauds (par exemple dans les développantes à proximité du circuit magnétique) de façon qu'ils soient efficacement protégés du contact avec le fluide de refroidissement primaire et qu'ils soient en bon contact thermique avec l'enroulement ou autre élément de machine.

Quel que soit le thermomètre, la lecture la plus élevée doit être prise comme valeur de la température de l'enroulement ou de l'élément de machine.

## **8.7 Durée des essais thermiques**

### **8.7.1 Caractéristiques assignées pour service continu**

L'essai doit durer jusqu'à ce que l'équilibre thermique soit atteint.

### **8.7.2 Caractéristiques assignées pour service temporaire**

La durée de l'essai doit être la durée qui est indiquée dans les caractéristiques assignées.

### **8.7.3 Caractéristiques assignées pour service périodique**

Normalement les caractéristiques assignées pour charge équivalente (voir 5.2.6) attribuées par le constructeur doivent être appliquées jusqu'à ce que l'équilibre thermique soit atteint. S'il y a accord pour effectuer un essai au service réel, le cycle de charge spécifié doit être appliqué jusqu'à l'obtention de cycles de température pratiquement identiques. Le critère en est que la droite reliant les points correspondants de deux cycles de charge successifs sur un diagramme de température doit avoir une pente inférieure à 2 K par heure. Si nécessaire, il faut effectuer des mesures à intervalles raisonnables pendant un certain laps de temps.

### **8.7.4 Caractéristiques assignées pour service non périodique et caractéristiques assignées pour service avec charges constantes distinctes**

Les caractéristiques assignées pour charge équivalente (voir 5.2.6), attribuées par le constructeur doivent être appliquées jusqu'à ce que l'équilibre thermique soit atteint.

## **8.8 Détermination de la constante de temps thermique équivalente des machines pour service type S9**

La constante de temps thermique équivalente (avec une ventilation telle qu'en condition normale de fonctionnement) appropriée pour la détermination approchée de l'évolution de la température peut être déterminée à partir de la courbe de refroidissement tracée conformément à 8.6.2.3. La valeur de la constante de temps est égale à 1,44 fois (c'est-à-dire  $1/\ln(2)$  fois) le délai entre la déconnexion du moteur et le refroidissement à une température correspondant à la moitié de l'échauffement de la machine à pleine charge.

## **8.9 Mesurage de la température des paliers**

L'une ou l'autre des méthodes par thermomètre ou par indicateur interne de température (IIT) est admise.

Le point de mesure doit être placé aussi près que possible de l'un des deux emplacements spécifiés au Tableau 6.

**Tableau 6 – Points de mesure**

Type de palier	Point de mesure	Emplacement du point de mesure
A roulement à billes ou à rouleaux	A	Dans le logement du roulement et à une distance <sup>b</sup> de la bague extérieure du roulement ne dépassant pas 10 mm <sup>a</sup>
	B	Surface extérieure du logement du roulement le plus près possible de la bague extérieure du roulement
A coussinet	A	Dans la zone de pression de la coquille du coussinet <sup>c</sup> et à une distance <sup>b</sup> du film d'huile ne dépassant pas 10 mm <sup>a</sup>
	B	A un autre endroit de la coquille du coussinet
<p><sup>a</sup> La distance est mesurée à partir du point le plus proche de l'indicateur interne ou du thermomètre.</p> <p><sup>b</sup> Dans le cas d'une machine à rotor extérieur, le point A se trouve dans la partie fixe à une distance de la bague intérieure ne dépassant pas 10 mm et le point B se trouve sur la surface extérieure de la partie fixe, aussi près que possible de la bague intérieure.</p> <p><sup>c</sup> La coquille du coussinet est la partie supportant le matériau du coussinet qui est pressé et fixé dans le logement. La zone de pression est la portion de circonférence qui supporte la combinaison du poids du rotor et des charges radiales.</p>		

La résistance thermique entre l'indicateur interne de température et l'objet dont on mesure la température doit être mesurée, par exemple, chaque interstice d'air doit être comblé par un produit conducteur de la chaleur.

NOTE Entre les points de mesure A et B comme entre ces points et le point le plus chaud du palier, il existe des différences de température qui dépendent, entre autres, de la dimension du palier. Pour les paliers à coussinets cylindriques emmanchés en force et pour les paliers à roulements à bille ou à rouleaux d'un diamètre intérieur inférieur ou égal à 150 mm, les différences de température qui se produisent entre les points de mesure A et B peuvent être présumées négligeables. Dans le cas des paliers plus grands, la différence de température entre les points de mesure A et B est approximativement 15 K.

### 8.10 Limites d'échauffement et de température

Des limites sont données pour marche aux conditions de fonctionnement sur site, définies à l'Article 6, et aux caractéristiques assignées pour service continu (conditions de référence), suivies par des règles donnant les corrections à ces limites en cas de marche sur site avec d'autres conditions de fonctionnement et avec d'autres caractéristiques assignées. Des règles additionnelles donnent les corrections aux limites pendant l'essai thermique en cas de conditions de fonctionnement au site d'essai différentes de celles au site de fonctionnement.

Les limites sont stipulées par rapport au fluide de refroidissement de référence défini au Tableau 4.

Une règle est donnée pour tenir compte de la pureté d'hydrogène de refroidissement.

#### 8.10.1 Enroulements à refroidissement indirect

Les échauffements dans les conditions de référence ne doivent pas excéder les limites données au Tableau 7 (refroidissement par air) ou au Tableau 8 (refroidissement par hydrogène) selon le cas.

Pour des conditions différentes de fonctionnement sur site, pour des caractéristiques assignées autres que celles pour service continu et pour des tensions assignées supérieures à 12 000 V, les limites doivent être corrigées selon le Tableau 9. (Voir aussi le Tableau 10 pour une limite à la température de fluide de refroidissement qui est présumée dans le Tableau 9.)

En cas de lectures par thermomètre effectuées selon 8.6.1, la limite d'échauffement doit être conforme au Tableau 7.

Si pour les enroulements à refroidissement indirect par air, les conditions de fonctionnement sur site d'essai diffèrent de celles sur site de fonctionnement, les limites corrigées données au Tableau 11 doivent s'appliquer au site d'essai.

Si les limites corrigées données au Tableau 11 conduisent à des températures admissibles au site d'essai que le constructeur juge excessives, la méthode d'essai et les limites doivent faire l'objet d'un accord.

Aucune correction pour le site d'essai n'est donnée pour les enroulements à refroidissement indirect par hydrogène car il est très improbable qu'ils soient essayés à pleine charge, ailleurs qu'à leur site de fonctionnement.

**Tableau 7 – Limites d'échauffement des enroulements à refroidissement indirect par l'air**

Méthode de mesure		Classification thermique						155 (F)			180 (H)		
		Th		R		IIT		Th		R		IIT	
Point		K		K		K		K		K		K	
<b>Partie de la machine</b>													
<b>1a)</b>	Enroulements à courant alternatif de machines de puissance supérieure ou égale à 5 000 kW (ou kVA)	-	80	85 a	-	105	110 a	-	125	130 a			
<b>1b)</b>	Enroulements à courant alternatif de machines de puissance supérieure à 200 kW (ou kVA), mais inférieure à 5 000 kW (ou kVA)	-	80	90 a	-	105	115 a	-	125	135 a			
<b>1c)</b>	Enroulements à courant alternatif de machines de puissance inférieure ou égale à 200 kW (ou kVA) autres que ceux des points 1d) ou 1e) b	-	80	-	-	105	-	-	125	-			
<b>1d)</b>	Enroulements à courant alternatif de machines de puissance inférieure à 600 W (ou VA) b	-	85	-	-	110	-	-	130	-			
<b>1e)</b>	Enroulements à courant alternatif de machines qui sont refroidies naturellement, sans ventilateur (IC40) et/ou à enroulements enrobés <sup>b</sup>	-	85	-	-	110	-	-	130	-			
<b>2</b>	Enroulements d'induit reliés à des collecteurs	70	80	-	85	105	-	105	125	-			
<b>3</b>	Enroulements d'excitation à courant continu des machines à courant alternatif et à courant continu, autres que ceux du point 4	70	80	-	85	105	-	105	125	-			
<b>4a)</b>	Enroulements d'excitation à courant continu des machines synchrones à rotor cylindrique, dont un enroulement est logé dans l'encoche, excepté les moteurs synchrones à induction	-	90	-	-	110	-	-	135	-			
<b>4b)</b>	Enroulements isolés fixes d'excitation à plus d'une couche des machines à courant continu	70	80	90	85	105	110	105	125	135			
<b>4c)</b>	Enroulements d'excitation de faible résistance ayant plus d'une couche des machines à courant alternatif et à courant continu, et enroulements de compensation des machines à courant continu	80	80	-	100	100	-	125	125	-			
<b>4d)</b>	Enroulements à une seule couche des machines à courant alternatif et à courant continu avec surfaces exposées nues ou en métal verni <sup>c</sup>	90	90	-	110	110	-	135	135	-			

a Pour la correction dans le cas des enroulements à courant alternatif à haute tension, voir point 4 du Tableau 9.

b Lors de l'application de la méthode d'essai par superposition à des enroulements de machines de puissance inférieure ou égale à 200 kW (ou kVA) avec des classes thermiques 130 (B) et 155 (F), les limites des échauffements prévues pour la méthode par variation de résistance peuvent être dépassées de 5 K.

c Comprend également les enroulements à plusieurs couches, à condition que les couches inférieures soient chacune en contact avec le fluide de refroidissement primaire en circulation.



**Tableau 9 – Corrections aux limites des échauffements sur le site de fonctionnement des enroulements à refroidissement indirect pour tenir compte de conditions de fonctionnement et de caractéristiques assignées qui ne sont pas les conditions de référence**

Point	Conditions de fonctionnement ou caractéristiques assignées		Corrections aux limites d'échauffement ( $\Delta\theta$ ) des Tableaux 7 et 8
1a	<p>Température maximale de l'air ambiant ou du gaz de refroidissement à l'entrée de la machine (<math>\theta_c</math>) et pour des altitudes jusqu'à 1 000 m.</p> <p>Si la différence entre la classe thermique et la limite observable de température, consistant en la somme de la température froide à l'entrée du fluide de refroidissement 40 °C et la limite de l'échauffement selon les Tableaux 7 et 8, est inférieure ou égale à 5 K:</p> <p>Pour une altitude supérieure remplacer les 40 °C par la valeur donnée dans le Tableau 10</p>	$0\text{ °C} \leq \theta_c \leq 40\text{ °C}$	<p>Augmentées de la différence entre la température du fluide de refroidissement et 40 °C</p>
Point	Conditions de fonctionnement ou caractéristiques assignées		Corrections aux limites d'échauffement ( $\Delta\theta$ ) des Tableaux 7 et 8
1b	<p>Température maximale de l'air ambiant ou de gaz de refroidissement à l'entrée de la machine (<math>\theta_c</math>) et pour des altitudes jusqu'à 1 000 m.</p> <p>Si la différence entre la classe thermique et la limite observable de température, consistant en la somme de la température froide à l'entrée du fluide de refroidissement 40 °C et la limite de l'échauffement selon les Tableaux 7 et 8, est plus grande que 5 K:</p> <p>Pour une altitude supérieure remplacer les 40 °C par la valeur donnée dans le Tableau 10</p>	$0\text{ °C} \leq \theta_c \leq 40\text{ °C}$	<p>Augmentées de la différence entre la température du fluide de refroidissement et 40 °C, mais cette différence est réduite par le facteur:</p> $\left(1 - \frac{\text{thermal class} - (40\text{ °C} + \text{lim.tmp})}{80\text{K}}\right)$ <p>avec  <i>lim.tmp.</i> = limite d'échauffement selon les Tableaux 7 et 8 pour une température froide de fluide de refroidissement de 40 °C</p>
1c		$40\text{ °C} < \theta_c \leq 60\text{ °C}$	<p>Réduites par la différence entre la température du fluide de refroidissement et 40 °C</p>
1d		$\theta_c < 0$ ou $\theta_c > 60\text{ °C}$	<p>Par accord</p>

Tableau 9 (suite)

Point	Conditions de fonctionnement ou caractéristiques assignées		Corrections aux limites d'échauffement ( $\Delta\theta$ ) des Tableaux 7 et 8
2	Température maximale de l'eau à l'entrée des hydro-réfrigérants ou température maximale de l'eau ambiante pour les machines submersibles par refroidissement par surface ou refroidissement par l'enveloppe ( $\theta_w$ )	$5\text{ °C} \leq \theta_w \leq 25\text{ °C}$  $\theta_w > 25\text{ °C}$	Augmentées de 15 K et par la différence entre 25 °C et $\theta_w$  Augmentées de 15 K et diminuées de la différence entre $\theta_w$ et 25 °C
3a	Altitude ( $H$ ) – règle générale	$1\ 000\text{ m} < H \leq 4\ 000\text{ m}$ et température maximale de l'air ambiant non spécifiée  $H > 4\ 000\text{ m}$	Pas de correction. Il faut admettre que la diminution du pouvoir de refroidissement résultant de l'altitude est compensée par une réduction de la température ambiante maximale au dessous de 40 °C et que les températures totales ne dépasseront en conséquence pas 40 °C plus les échauffements des Tableaux 7 et 8 <sup>a</sup>
3b	<b>Altitude (<math>H</math>) – spécifique à une génératrice de centrale électrique</b>	selon spécification de l'acheteur	Par accord  Il convient que les capacités des génératrices de centrale électrique soient corrigées en fonction de l'altitude (pression atmosphérique). Une correction des capacités n'est pas nécessaire pour les génératrices de centrale électrique si la pression absolue du fluide de refroidissement est maintenue à un niveau constant quelle que soit l'altitude.
4	Tension assignée de l'enroulement statorique ( $U_N$ )	$12\text{ kV} < U_N \leq 24\text{ kV}$  $U_N > 24\text{ kV}$	$\Delta\theta$ , pour les indicateurs internes de température (IIT) doivent être réduites de 1 K par tranche de 1 kV (ou fraction de tranche) à partir de 12 kV jusqu'à 24 kV compris  Par accord
5 b	Caractéristiques assignées pour service temporaire (S2), avec puissance assignée inférieure à 5 000 kW (kVA)		Augmentées de 10 K
6 b	Caractéristiques assignées pour service non périodique (S9)		$\Delta\theta$ , peuvent être dépassées pendant de courtes périodes lors du fonctionnement de la machine
7 b	Caractéristiques assignées pour service avec charges constantes distinctes (S10)		$\Delta\theta$ , peuvent être dépassées pendant des périodes distinctes lors du fonctionnement de la machine.
<sup>a</sup> En admettant que la réduction nécessaire de la température ambiante est de 1 % des limites d'échauffement par tranche de 100 m au-dessus de 1 000 m, la température ambiante maximale présumée du site de fonctionnement est indiquée dans le Tableau 10.			
<sup>b</sup> Uniquement pour les enroulements refroidis par air.			

Tableau 10 – Températures ambiantes maximales présumées

Altitude m	Classification thermique		
	130 (B)	155 (F)	180 (H)
	Température °C		
1 000	40	40	40
2 000	32	30	28
3 000	24	19	15
4 000	16	9	3

### **8.10.2 Enroulements à refroidissement direct**

Les températures dans les conditions de référence ne doivent pas excéder les limites données au Tableau 12.

Pour des conditions différentes de fonctionnement sur site, les limites doivent être corrigées selon le Tableau 13.

Si les conditions de fonctionnement sur site d'essai diffèrent de celles sur site de fonctionnement, les limites corrigées données au Tableau 14 doivent s'appliquer au site d'essai.

Si les limites corrigées données au Tableau 14 conduisent à des températures au site d'essai que le constructeur considère être excessives, la méthode d'essai et les limites doivent faire l'objet d'un accord.

### **8.10.3 Corrections pour tenir compte de la pureté de l'hydrogène au cours de l'essai**

Pour les enroulements à refroidissement direct ou indirect par hydrogène, aucune correction ne doit être effectuée sur les limites d'échauffement ou de température totale, si la proportion de l'hydrogène est comprise entre 95 % et 100 %.

### **8.10.4 Enroulements continuellement fermés sur eux-mêmes, circuits magnétiques et tous éléments de structure (à l'exclusion des paliers), qu'ils soient ou non en contact direct avec une isolation**

L'échauffement ou la température ne doit pas être préjudiciable à l'isolation de cette partie ou de toute autre partie avoisinante.

### **8.10.5 Collecteurs et bagues, ouverts ou enfermés, et leurs balais et porte-balais**

La température ou l'échauffement de tout collecteur, bague, balai ou porte-balais ne doit pas être préjudiciable à l'isolation de cette partie ou de toute autre partie avoisinante.

La température ou l'échauffement d'un collecteur ou de bagues ne doit pas dépasser le niveau qui permet d'assurer le passage du courant dans toute la plage de fonctionnement, pour la combinaison de la qualité des balais et du matériau du collecteur ou des bagues.

**Tableau 11 – Limites corrigées des échauffements sur le site d'essai ( $\Delta\theta_T$ )  
des enroulements à refroidissement indirect par air pour tenir compte  
des conditions de fonctionnement sur le site d'essai**

Point	Conditions de fonctionnement sur le site d'essai		Limites corrigées sur le site d'essai $\Delta\theta_T$
1	Différence de température de fluide de refroidissement de référence entre site d'essai ( $\theta_{cT}$ ) et site de fonctionnement ( $\theta_c$ )	Valeur absolue de $(\theta_c - \theta_{cT}) \leq 30$ K	$\Delta\theta_T = \Delta\theta$
		Valeur absolue de $(\theta_c - \theta_{cT}) > 30$ K	Par accord
2	Différence d'altitude entre site d'essai ( $H_T$ ) et site de fonctionnement ( $H$ )	$1\ 000\text{ m} < H \leq 4\ 000\text{ m}$ $H_T < 1\ 000\text{ m}$	$\Delta\theta_T = \Delta\theta \left( 1 - \frac{H - 1\ 000\text{ m}}{10\ 000\text{ m}} \right)$
		$H < 1\ 000\text{ m}$ $1\ 000\text{ m} < H_T \leq 4\ 000\text{ m}$	$\Delta\theta_T = \Delta\theta \left( 1 + \frac{H_T - 1\ 000\text{ m}}{10\ 000\text{ m}} \right)$
		$1\ 000\text{ m} < H \leq 4\ 000\text{ m}$ $1\ 000\text{ m} < H_T \leq 4\ 000\text{ m}$	$\Delta\theta_T = \Delta\theta \left( 1 + \frac{H_T - H}{10\ 000\text{ m}} \right)$
		$H > 4\ 000\text{ m}$ ou $H_T > 4\ 000\text{ m}$	Par accord
NOTE 1 $\Delta\theta$ est donné au Tableau 7 et est corrigé, le cas échéant, conformément au Tableau 9.			
NOTE 2 Si l'échauffement doit être mesuré au-dessus de la température de l'eau à son entrée dans le réfrigérant, en toute rigueur il faudrait tenir compte de l'effet de l'altitude sur la différence de température entre l'air et l'eau. Toutefois, pour la plupart des conceptions de réfrigérants, l'effet sera faible, la différence augmentant avec l'altitude au taux d'environ 2 K pour 1 000 m. Si une correction est nécessaire, il convient qu'elle fasse l'objet d'un accord.			

**Tableau 12 – Limites des températures des enroulements à refroidissement direct et de leurs fluides de refroidissement**

Classification thermique		130 (B)			155 (F)		
Méthode de mesure		Thermomètre °C	Résistance °C	IIT °C	Thermomètre °C	Résistance °C	IIT °C
Point	Partie de la machine						
1	Fluide de refroidissement à la sortie des enroulements à courant alternatif refroidis directement. Il est préférable d'utiliser ces valeurs, plutôt que celles du point 2, pour la définition des caractéristiques assignées						
1a)	Gaz (air, hydrogène, hélium, etc.)	110	–	–	130	–	–
1b)	Eau	90	–	–	90	–	–
2	Enroulements à courant alternatif						
2a) 2b)	Refroidis par un gaz Refroidis par un liquide	–	–	120 <sup>a</sup>	–	–	145 <sup>a</sup>
3	Enroulements d'excitation des turbomachines						
3a)	Refroidis par un gaz sortant du rotor par le nombre suivant de zones de sortie <sup>b</sup>						
	1 et 2	–	100	–	–	115	–
	3 et 4	–	105	–	–	120	–
	5 et 6	–	110	–	–	125	–
	7 à 14	–	115	–	–	130	–
	plus de 14	–	120	–	–	135	–
3b)	Refroidis par un liquide	L'observation des températures maximales du fluide de refroidissement spécifiées au point 1b) assure que la température aux points chauds de l'enroulement n'est pas excessive.					
4	Enroulements d'excitation à courant continu des machines à courant alternatif et à courant continu, autres que ceux du point 3						
4a)	Refroidis par un gaz	–	130	–	–	150	–
4b)	Refroidis par un liquide	L'observation des températures maximales du fluide de refroidissement spécifiées au point 1b) assure que la température aux points chauds de l'enroulement n'est pas excessive.					

<sup>a</sup> Aucune correction n'est à effectuer à ces points dans le cas d'enroulements à courant alternatif à haute tension, voir point n° 2 du Tableau 13.

<sup>b</sup> La ventilation du rotor est caractérisée par le nombre de zones de sorties radiales sur toute la longueur du rotor. Les zones spéciales de sortie du fluide de refroidissement dans les têtes de bobines sont comptées à raison d'une sortie à chaque extrémité. La zone de sortie commune de deux courants dirigés en sens inverse est comptée pour deux zones.

**Tableau 13 – Corrections aux limites de température sur le site de fonctionnement pour les enroulements à refroidissement direct par air ou hydrogène pour tenir compte de conditions de fonctionnement et de caractéristiques assignées qui ne sont pas les conditions de référence**

Point	Conditions de fonctionnement ou caractéristiques assignées		Corrections aux limites de température du Tableau 12
1	Température du fluide de refroidissement de référence ( $\theta_c$ )	$0\text{ °C} \leq \theta_c \leq 40\text{ °C}$	Réduites de la différence entre $40\text{ °C}$ et $\theta_c$ . Cependant par accord, une réduction inférieure peut être effectuée, sous réserve que si $\theta_c < 10\text{ °C}$ , la réduction soit au moins égale à la différence entre $10\text{ °C}$ et $\theta_c$
		$40\text{ °C} < \theta_c \leq 60\text{ °C}$	Pas de correction.
		$\theta_c < 0\text{ °C}$ ou $\theta_c > 60\text{ °C}$	Par accord
2	Tension assignée de l'enroulement statorique ( $U_N$ )	$U_N > 11\text{ kV}$	Pas de correction. Le débit de chaleur passe principalement vers le fluide de refroidissement à l'intérieur des conducteurs et non à travers l'isolation principale de l'enroulement.

**Tableau 14 – Limites corrigées de température sur le site d'essai ( $\theta_T$ ) pour les enroulements à refroidissement direct par air pour tenir compte des conditions de fonctionnement sur le site d'essai**

Point	Conditions de fonctionnement sur le site d'essai		Limites corrigées de température sur le site d'essai $\theta_T$
1	Différence de température de fluide de refroidissement de référence de site d'essai ( $\theta_{cT}$ ) et site de fonctionnement ( $\theta_c$ )	Valeur absolue de $(\theta_c - \theta_{cT}) \leq 30\text{ K}$	$\theta_T = \theta$
		Valeur absolue de $(\theta_c - \theta_{cT}) > 30\text{ K}$	Par accord
2	Différence d'altitude entre site d'essai ( $H_T$ ) et site de fonctionnement ( $H$ )	$1\ 000\text{ m} < H \leq 4\ 000\text{ m}$ $H_T < 1\ 000\text{ m}$	$\theta_T = (\theta - \theta_c) \left( 1 - \frac{H - 1\ 000\text{ m}}{10\ 000\text{ m}} \right) + \theta_{cT}$
		$H < 1\ 000\text{ m}$ $1\ 000\text{ m} < H_T \leq 4\ 000\text{ m}$	$\theta_T = (\theta - \theta_c) \left( 1 + \frac{H_T - 1\ 000\text{ m}}{10\ 000\text{ m}} \right) + \theta_{cT}$
		$1\ 000\text{ m} < H \leq 4\ 000\text{ m}$ $1\ 000\text{ m} < H_T \leq 4\ 000\text{ m}$	$\theta_T = (\theta - \theta_c) \left( 1 + \frac{H_T - H}{10\ 000\text{ m}} \right) + \theta_{cT}$
		$H > 4\ 000\text{ m}$ ou $H_T > 4\ 000\text{ m}$	Par accord
NOTE $\theta$ est donné au Tableau 12 et est corrigé, le cas échéant, conformément au Tableau 13.			

## 9 Autres caractéristiques de fonctionnement et essais

### 9.1 Essais individuels

Les essais individuels sont toujours des essais en usine. Ils ne peuvent être réalisés que sur les machines assemblées dans les ateliers du constructeur. La machine n'a pas besoin d'être entièrement assemblée. Il peut y manquer les composants qui ne sont pas significatifs pour l'essai. Les essais de série ne nécessitent pas que la machine soit accouplée sauf pour l'essai à vide des machines synchrones.

La liste minimale de ces essais est donnée dans le Tableau 15 et est applicable pour les machines dont la puissance assignée est inférieure ou égale à 20 MW (MVA). Des essais

additionnels peuvent être réalisés particulièrement sur les machines dont la puissance assignée est supérieure à 200 kW (kVA). La terminologie machine synchrone inclut les machines à aimant permanent.

Pour les machines à courant continu, selon leur taille ou leur conception, un essai de commutation en charge peut être effectué au titre d'essai individuel.

**Tableau 15 – Liste minimale des essais individuels**

Point	essai	Machines asynchrones (incluant les moteurs asynchrones synchronisés) <sup>a</sup>	Machines synchrones		Machines à courant continu avec excitation séparée ou shunt
			Moteurs	Génératrices	
1	Résistance des enroulements (froid)	Oui	Oui		Oui
2	Pertes et courant à vide	Oui	–		–
3a	Pertes à vide avec un facteur de puissance unitaire <sup>b</sup>	–	Oui <sup>d</sup>		–
3b	Courant d'excitation à vide à la tension assignée par un essai à vide <sup>b</sup>	–	Oui <sup>d</sup>		–
4	Courant d'excitation à la vitesse et la tension de l'induit assignées	–	–		Oui
5	Tension induite au secondaire circuit ouvert et à l'arrêt (rotor bobiné) <sup>c</sup>	Oui	–		–
6a	Sens de rotation	Oui	Oui	–	Oui
6b	Séquence des phases	–	–	Oui	–
7	Essai de tension de tenue selon 9.2	Oui	Oui		Oui

<sup>a</sup> VEI 411-33-04.  
<sup>b</sup> Machines à aimant permanent exclues.  
<sup>c</sup> Pour des raisons de sécurité, cet essai peut être réalisé à tension réduite.  
<sup>d</sup> Essais 3a et 3b sont exclusifs. Seul un de ces essais est exigé.

## 9.2 Essais de tension de tenue

Une tension d'essai telle que définie ci-après doit être appliquée entre les enroulements soumis à l'essai et la carcasse de la machine à laquelle sont reliés le circuit magnétique et les enroulements non soumis à l'essai. L'essai ne doit être effectué que sur une machine neuve et terminée, dont toutes les parties sont en place dans des conditions équivalentes dans les conditions normales de fonctionnement; il doit être effectué dans l'atelier du constructeur ou après montage sur site. Si un essai d'échauffement est effectué, l'essai de tension de tenue doit être effectué immédiatement après cet essai.

Dans le cas de machines polyphasées de tension assignée supérieure à 1 kV, dont les deux extrémités de chaque phase sont individuellement accessibles, la tension d'essai doit être appliquée entre chaque phase et la carcasse, à laquelle sont reliés le circuit magnétique et les autres phases et enroulements non soumis à l'essai.

Sauf exception ci-dessous, la tension d'essai doit être à fréquence industrielle et de forme pratiquement sinusoïdale. La valeur finale de la tension d'essai doit être conforme au Tableau 16. Toutefois, pour les machines de tension assignée supérieure ou égale à 6 kV, lorsque la disponibilité d'une installation d'essai à fréquence industrielle n'existe pas et après

accord, l'essai peut être effectué en tension continue, à un niveau égal à 1,7 fois la valeur efficace spécifiée au Tableau 16.

NOTE Il est admis que, lors d'un essai en tension continue, la distribution de potentiel de surface le long de l'isolation des développantes et les mécanismes de vieillissement sont différents de ceux en tension alternative.

L'essai doit être commencé avec une tension ne dépassant pas la moitié de la pleine tension d'essai. La tension est ensuite augmentée jusqu'à la pleine tension d'essai, d'une manière progressive ou par degrés ne dépassant pas 5 % de la pleine valeur, la durée de l'augmentation de la tension depuis la moitié jusqu'à la pleine valeur n'étant pas inférieure à 10 s. La pleine tension d'essai est alors maintenue pendant 1 min à la valeur spécifiée dans le Tableau 16. Il ne doit pas y avoir de défaut (voir la CEI 60060-1) pendant cette séquence.

Lors des essais individuels des machines construites en série de puissance inférieure ou égale à 200 kW (ou kVA) et dont la tension assignée est inférieure ou égale à 1 kV, l'essai de 1 min peut être remplacé par un essai de 1 s à 120 % de la tension d'essai spécifiée dans le Tableau 16.

L'essai à haute tension effectué à pleine tension sur les enroulements lors de la réception ne doit pas être répété. Si, toutefois, un second essai est effectué sur demande de l'acheteur, après un séchage supplémentaire si cela est jugé nécessaire, la tension d'essai doit être égale à 80 % de la tension spécifiée dans le Tableau 16.

Pour déterminer la tension d'essai du Tableau 16 pour les moteurs à courant continu alimentés par convertisseurs statiques de puissance, la tension continue du moteur ou la valeur efficace de la tension alternative assignée entre phases aux bornes d'entrée du convertisseur statique de puissance doit être utilisée, selon la valeur la plus élevée.

Les enroulements entièrement rebobinés doivent être essayés à la pleine valeur prévue pour les machines neuves.

Si un utilisateur et un réparateur sont convenus d'effectuer des essais de tension de tenue dans des cas de rebobinage partiel des enroulements ou de révision d'une machine, il est recommandé de procéder comme suit:

- a) les enroulements partiellement rebobinés sont essayés à 75 % de la tension d'essai prévue pour une machine neuve. Avant l'essai, la partie ancienne de l'enroulement, doit être soigneusement nettoyée et séchée;
- b) les machines révisées sont soumises, après nettoyage et séchage, à un essai à une tension égale à 1,5 fois la tension assignée, avec un minimum de 1 000 V si la tension assignée est supérieure ou égale à 100 V et un minimum de 500 V si la tension assignée est inférieure à 100 V.

**Tableau 16 – Essais de tension de tenue**

Point	Machine ou élément de la machine	Tension d'essai (valeur efficace)
1	Enroulements isolés de machines tournantes de puissance assignée inférieure à 1 kW (ou kVA) et de tension assignée inférieure à 100 V à l'exception de ceux des points 4 à 8	500 V + deux fois la tension assignée
2	Enroulements isolés de machines tournantes de puissance assignée inférieure à 10 000 kW (ou kVA) à l'exception de ceux des points 1 et 4 à 8 <sup>b</sup>	1 000 V + deux fois la tension assignée avec un minimum de 1 500 V <sup>a</sup>
3	Enroulements isolés de machines tournantes de puissance assignée supérieure ou égale à 10 000 kW (ou kVA) à l'exception de ceux des points 4 à 8 <sup>b</sup> Tension assignée <sup>a</sup> : - inférieure ou égale à 24 000 V - supérieure à 24 000 V	1 000 V + deux fois la tension assignée Soumis à accord
4	Enroulements d'excitation séparée des machines à courant continu	1 000 V + deux fois la tension assignée maximale d'excitation avec un minimum de 1 500 V
5	Enroulements d'excitation des génératrices synchrones, des moteurs synchrones et des compensateurs synchrones	
5a)	Tension assignée d'excitation - inférieure ou égale à 500 V  - supérieure à 500 V	Dix fois la tension assignée d'excitation avec un minimum de 1 500 V  4 000 V + deux fois la tension assignée d'excitation
5b)	Si la machine est destinée à démarrer avec l'enroulement inducteur court-circuité ou fermé sur une résistance de valeur inférieure à dix fois la résistance de l'enroulement	Dix fois la tension assignée d'excitation avec un minimum de 1 500 V et un maximum de 3 500 V
5c)	Si la machine est destinée à démarrer soit avec l'enroulement inducteur fermé sur une résistance de valeur supérieure ou égale à dix fois la résistance de l'enroulement, soit avec les enroulements d'excitation en circuit ouvert avec ou sans diviseur de champ	1 000 V + deux fois la valeur maximale de la tension efficace qui peut se produire, dans les conditions de démarrage spécifiées, entre les bornes de l'enroulement d'excitation ou, dans le cas d'un enroulement d'excitation sectionné, entre les bornes de toute section, avec un minimum de 1 500 V <sup>c</sup>
6	Enroulements secondaires (habituellement rotors) des moteurs à induction ou des moteurs à induction synchronisés non court-circuités en permanence (destinés par exemple à démarrer par rhéostats)	
6a)	Pour moteurs non réversibles ou pour moteurs réversibles à partir de l'arrêt seulement	1 000 V + deux fois la tension en circuit ouvert à l'arrêt, mesurée entre les bagues ou les bornes secondaires avec la tension assignée appliquée aux enroulements primaires
6b)	Pour les moteurs qui peuvent être inversés ou freinés en inversant l'alimentation primaire lorsque le moteur est en fonctionnement	1 000 V + quatre fois la tension secondaire en circuit ouvert à l'arrêt comme défini au point 6a)
7	Excitatrices (sauf exceptions ci-dessous)	Comme les enroulements auxquels elles sont connectées
	<i>Exception 1</i> : excitatrices des moteurs synchrones (y compris les moteurs asynchrones synchronisés) lorsqu'elles sont mises à la terre ou déconnectées des enroulements d'excitation pendant le démarrage	1 000 V + deux fois la tension assignée de l'excitatrice avec un minimum de 1 500 V
	<i>Exception 2</i> : enroulement à excitation séparée des excitatrices (voir point 4)	

Tableau 16 (suite)

Point	Machine ou élément de la machine	Tension d'essai (valeur efficace)
8	Ensemble de machines et d'appareils électriquement reliés	Il est recommandé d'éviter si possible la répétition des essais des points 1 à 7, mais si l'essai est fait sur un ensemble de machines et d'appareils dont chacun a déjà subi un essai de tension de tenue, la tension d'essai appliquée à un tel ensemble connecté électriquement ne doit pas dépasser 80 % de la tension la plus basse applicable à l'un des éléments individuels de l'ensemble <sup>d</sup>
9	Equipements qui sont en contact physique avec les enroulements, par exemple, les détecteurs de température, doivent être testés par rapport à la carcasse  Pendant l'essai de tenue de la machine, tous les équipements en contact physique avec l'enroulement doivent être reliés à la carcasse de la machine	1 500 V
a	Dans le cas d'enroulements diphasés ayant une borne commune, la tension dans la formule doit être la plus haute tension en valeur efficace qui apparaît entre deux bornes quelconques pendant le fonctionnement.	
b	Il convient que l'essai diélectrique des machines à isolation graduée fasse l'objet d'un accord.	
c	La tension qui s'établit aux bornes des enroulements d'excitation ou de leurs sections, dans les conditions de démarrage spécifiées, peut être mesurée à une tension d'alimentation réduite appropriée; la tension ainsi mesurée doit être augmentée dans le rapport de la tension de démarrage spécifiée à la tension d'alimentation de l'essai.	
d	Pour les enroulements d'une ou plusieurs machines qui sont reliés ensemble électriquement, la tension à considérer est la tension maximale qui s'établit par rapport à la terre.	

### 9.3 Surintensité occasionnelle

#### 9.3.1 Généralités

La possibilité de surintensité des machines tournantes est donnée afin de coordonner ces machines à des dispositifs de commande et de protection. Des essais pour démontrer ces possibilités ne sont pas une exigence de la présente norme. L'effet d'échauffement dans les enroulements de la machine varie approximativement comme le produit du temps par le carré du courant. Un courant supérieur au courant assigné provoque une élévation de température. Sauf accord contraire, on peut supposer que la machine ne sera mise en fonctionnement à ces surintensités spécifiées que pendant quelques courtes périodes au cours de sa durée de vie. Si une machine à courant alternatif doit être utilisée à la fois comme alternateur et comme moteur, il est recommandé que la surintensité soit l'objet d'un accord.

NOTE Pour les machines synchrones, l'aptitude à fonctionner avec composante inverse de courant en régime de défaut est indiquée en 7.2.3.

#### 9.3.2 Génératrices

Les alternateurs dont la puissance assignée est inférieure ou égale à 1 200 MVA doivent être capables de supporter un courant égal à 1,5 fois le courant assigné pendant au moins 30 s.

Les alternateurs dont la puissance assignée est supérieure à 1 200 MVA doivent être capables de supporter un courant égal à 1,5 fois le courant assigné pendant une période qui doit faire l'objet d'un accord, mais cette période ne doit pas être inférieure à 15 s.

#### 9.3.3 Moteurs (sauf les moteurs à collecteur et les moteurs à aimants permanents)

Les moteurs polyphasés dont la puissance assignée est inférieure ou égale à 315 kW et dont la tension assignée est inférieure ou égale à 1 kV doivent être capables de supporter:

- un courant égal à 1,5 fois le courant assigné pendant au moins 2 min.

NOTE Pour les moteurs polyphasés de puissance assignée supérieure à 315 kW et pour tous les moteurs monophasés, aucune surintensité occasionnelle n'est spécifiée.

#### 9.3.4 Machines à collecteur

Une machine à collecteur doit être capable de supporter, pendant 60 s, 1,5 fois le courant assigné dans la combinaison appropriée des conditions suivantes:

- a) vitesse:
  - 1) moteur à courant continu: vitesse la plus élevée à pleine excitation;
  - 2) génératrice à courant continu: vitesse assignée;
  - 3) moteur à collecteur à courant alternatif: vitesse la plus élevée à pleine excitation;
- b) tension d'induit: celle correspondant à la vitesse spécifiée.

NOTE Il convient de porter attention aux limites de possibilité de commutation.

### 9.4 Excès momentané de couple des moteurs

#### 9.4.1 Moteurs à induction polyphasés et moteurs à courant continu

Les moteurs doivent, quels que soient leur service et leur réalisation, être capables de supporter, pendant 15 s, sans calage ni changement brusque de vitesse (sous une augmentation graduelle de couple) un excès du couple de 60 % de leur valeur assignée, la tension et la fréquence (moteurs à induction) étant maintenues à leurs valeurs assignées.

NOTE Pour certains moteurs fabriqués conformément à la CEI 60034-12, des couples plus importants sont nécessaires.

Pour les moteurs à courant continu, le couple doit être exprimé en termes de surintensité.

Les moteurs pour service type S9 doivent être capables de supporter momentanément un excès de couple déterminé conformément au service spécifié.

NOTE Pour une détermination approchée des changements de température due à l'évolution des pertes en fonction du courant, la constante de temps thermique équivalente, déterminée conformément à 8.8, peut être utilisée.

Les moteurs destinés à des applications particulières qui exigent un couple élevé (par exemple pour les appareils de levage) doivent faire l'objet d'un accord.

Pour les moteurs à induction à cage spécialement prévus pour assurer au démarrage un courant inférieur à 4,5 fois le courant assigné, l'excès de couple peut être inférieur à 60 % de la valeur indiquée à l'alinéa 1, mais doit être au moins égal à 50 % de cette valeur.

Dans le cas des moteurs à induction de type spécial ayant des propriétés intrinsèques spéciales de démarrage, par exemple les moteurs destinés au fonctionnement à fréquence variable ou les moteurs à induction alimentés par convertisseurs statiques, la valeur de l'excès de couple doit faire l'objet d'un accord.

#### 9.4.2 Moteurs synchrones polyphasés

Sauf accord contraire, un moteur synchrone polyphasé doit, quel que soit son service, être capable de supporter pendant 15 s, sans perte de synchronisme, l'excès de couple spécifié ci-dessous, l'excitation étant maintenue à la valeur qui correspond à la charge assignée. Dans le cas d'une excitation à réglage automatique, les limites de couple doivent avoir les mêmes valeurs, le dispositif d'excitation fonctionnant dans des conditions normales:

- moteurs asynchrones synchronisés (à rotor bobiné): excès de couple 35 %;
- moteurs synchrones (à rotor cylindrique): excès de couple 35 %;
- moteurs synchrones (à pôles saillants): excès de couple 50 %.

### 9.4.3 Autres moteurs

L'excès momentané de couple des moteurs monophasés, à collecteur et autres, doit faire l'objet d'un accord.

### 9.5 Couple minimal pendant le démarrage

Sauf spécification contraire (par exemple pour les machines conformes à la CEI 60034-12), le couple minimal pendant le démarrage sous pleine tension des moteurs à induction à cage ne doit pas être inférieur à 0,3 fois le couple assigné.

### 9.6 Vitesse de sécurité en fonctionnement des moteurs à induction à cage

Tous les moteurs triphasés à induction à cage à une seule vitesse ayant une désignation de la carcasse inférieure ou égale à 315 et pour des tensions d'alimentation inférieures ou égales à 1 000 V doivent être capables de fonctionnement continu sûr à des vitesses inférieures ou égales à la vitesse appropriée du Tableau 17 sauf indication différente indiquée sur la plaque signalétique.

**Tableau 17 – Vitesse maximale de sécurité en fonctionnement ( $\text{min}^{-1}$ ) des moteurs triphasés à induction à cage, à une seule vitesse, pour des tensions d'alimentation inférieures ou égales à 1 000 V**

Désignation de la carcasse	2 pôles	4 pôles	6 pôles
≤ 100	5 200	3 600	2 400
112	5 200	3 600	2 400
132	4 500	2 700	2 400
160	4 500	2 700	2 400
180	4 500	2 700	2 400
200	4 500	2 300	1 800
225	3 600	2 300	1 800
250	3 600	2 300	1 800
280	3 600	2 300	1 800
315	3 600	2 300	1 800

NOTE Les valeurs indiquées ci-dessus peuvent devoir être réduites pour satisfaire à la série CEI 60079 [8].

NOTE En cas de fonctionnement à des vitesses supérieures à la vitesse assignée, par exemple en cas d'utilisation avec commande de vitesse réglable, les niveaux de bruit et de vibration augmenteront. Il se peut que l'utilisateur ait besoin d'affiner l'équilibrage du rotor du moteur pour un fonctionnement acceptable au-dessus de la vitesse assignée. La durée de vie des paliers peut être réduite. Il convient de porter attention à la périodicité du graissage et à la durée de vie de la graisse.

### 9.7 Survitesse

Les machines doivent être conçues de façon à supporter les vitesses spécifiées dans le Tableau 18.

Un essai de survitesse n'est pas normalement considéré comme nécessaire, mais il peut être effectué si cela a été spécifié et a fait l'objet d'un accord (pour les turbo-alternateurs, voir

également la CEI 60034-3). Un essai de survitesse doit être considéré comme satisfaisant si, à la suite de cet essai, on ne constate pas de déformation permanente anormale ni d'autres signes de faiblesse pouvant empêcher la machine de fonctionner normalement et si les enroulements rotoriques satisfont aux essais diélectriques spécifiés. La durée de tout essai de survitesse doit être de 2 min.

En raison d'un affaissement des jantes de rotor en tôles, des pôles en tôles maintenus par des cales ou par des boulons, etc., une légère augmentation permanente du diamètre est naturelle et ne doit pas être considérée comme une déformation anormale indiquant que la machine ne se prête pas à un fonctionnement normal.

Pendant les essais de réception d'un alternateur synchrone entraîné par une turbine hydraulique, la machine doit tourner à la vitesse qu'elle peut atteindre avec la protection contre la survitesse en fonction, de façon à permettre de vérifier que l'équilibrage est satisfaisant jusqu'à cette vitesse.

**Tableau 18 – Survitesses**

Point	Type de machines	Exigence de survitesse
1	Machines à courant alternatif Toutes les machines autres que celles qui sont spécifiées ci-après:	1,2 fois la vitesse assignée maximale
1a)	Alternateurs entraînés par une turbine hydraulique et machines auxiliaires de tous types couplées directement (électriquement ou mécaniquement) à la machine principale	Sauf spécification contraire, vitesse d'emballement du groupe, mais au moins 1,2 fois la vitesse assignée maximale
1b)	Machines pouvant, dans certaines circonstances être entraînés par la charge	Vitesse d'emballement spécifiée du groupe, mais au moins 1,2 fois la vitesse maximale
1c)	Moteurs série et moteurs universels	1,1 fois la vitesse à vide à la tension assignée. Pour les moteurs liés à la charge d'une manière telle qu'ils ne peuvent s'en dissocier accidentellement, l'expression «vitesse à vide» doit être interprétée «vitesse correspondant à la charge la plus faible possible»
1d)	Moteurs triphasés à induction à cage, à une seule vitesse selon 9.6	1,2 fois la vitesse maximale de sécurité en fonctionnement
2	Machines à courant continu	
2a)	Moteurs à excitation shunt ou séparée	1,2 fois la vitesse assignée maximale, ou 1,15 fois la vitesse à vide correspondante, laquelle de ces 2 valeurs est la plus grande.
2b)	Moteurs à excitation composée ayant une plage de vitesse inférieure ou égale à 35 %	1,2 fois la vitesse assignée maximale ou 1,15 fois la vitesse à vide correspondante, laquelle de ces 2 valeurs est la plus grande sans toutefois dépasser 1,5 fois la vitesse assignée maximale
2c)	Moteurs à excitation composée ayant une plage de vitesses supérieure à 35 % et moteurs à excitation série	Le constructeur doit attribuer une vitesse maximale de sécurité en fonctionnement qui sera marquée sur la plaque signalétique. La survitesse de ces moteurs doit être égale à 1,1 fois cette vitesse maximale de sécurité en fonctionnement. Ce marquage n'est pas exigé si la survitesse correspond à 1,1 fois la vitesse à vide à la tension assignée
2d)	Moteurs à excitation par aimant permanent	Survitesse comme spécifiée au point 2a) sauf si le moteur a aussi un enroulement en série; dans ce cas, il doit pouvoir supporter les survitesses spécifiées aux points 2b) et 2c) selon les cas
2e)	Génératrices	1,2 fois la vitesse assignée

## 9.8 Courant de court-circuit des machines synchrones

Sauf spécification contraire, la valeur de crête du courant de court-circuit des machines synchrones, comprenant les turbo-machines non couvertes par la CEI 60034-3, dans le cas de court-circuit sur toutes les phases en fonctionnement sous la tension assignée, ne doit pas dépasser 15 fois la valeur de crête ou 21 fois la valeur efficace du courant assigné.

La vérification peut être effectuée par le calcul ou par un essai sous une tension au moins égale à 0,5 fois la tension assignée.

## 9.9 Essai de tenue au court-circuit des machines synchrones

L'essai de court-circuit triphasé des machines synchrones n'est effectué que sur demande de l'acheteur. Dans ce cas, l'essai doit être effectué sur la machine en marche à vide avec une excitation correspondant, sauf accord contraire, à la tension assignée. L'essai ne doit pas être effectué avec une excitation supérieure à celle qui correspond à 1,05 fois la tension assignée à vide.

L'excitation d'essai ainsi déterminée peut être réduite selon accord pour tenir compte de l'impédance du transformateur qui peut être interposé entre les machines et le réseau. Dans ce dernier cas, il pourra également être accepté que l'essai soit effectué sur le site de fonctionnement avec le dispositif de surexcitation en service. Le court-circuit doit être maintenu pendant 3 s.

L'essai est jugé satisfaisant si aucune déformation néfaste ne se produit et si les exigences de l'essai diélectrique par tension appliquée (voir le Tableau 16) sont satisfaites après l'essai de court-circuit. Pour les turbo-machines triphasées, voir la CEI 60034-3.

## 9.10 Essai de commutation pour machines à collecteur

Une machine à courant continu ou à courant alternatif comportant un collecteur doit être capable de fonctionner de la marche à vide à la marche en surintensité ou excès de couple spécifiée en 9.3 et 9.4 respectivement, sans dommage permanent à la surface du collecteur ou des balais et sans étincelles dangereuses, les balais restant calés dans la même position. Si possible, l'essai de commutation doit être effectué à chaud.

## 9.11 Distorsion harmonique totale (*DHT*) pour machines synchrones

### 9.11.1 Généralités

Les exigences du présent paragraphe ne s'appliquent qu'aux machines synchrones de puissance assignée égale ou supérieure à 300 kW (ou kVA), destinées à être raccordées à des réseaux fonctionnant à des fréquences nominales de  $16^{2/3}$  Hz à 100 Hz inclus en vue de réduire au minimum les interférences causées par les machines.

### 9.11.2 Limites

Lorsqu'elle est vérifiée en circuit ouvert à la vitesse et à la tension assignées, la distorsion harmonique totale (*DHT*) de la tension entre bornes de phase, mesurée conformément aux méthodes données en 9.11.3 ne doit pas dépasser 5 %.

NOTE La limitation de chaque harmonique n'est pas spécifiée individuellement, car il est considéré que les machines qui satisfont aux exigences indiquées ci-dessus fonctionnent de façon satisfaisante.

### 9.11.3 Essais

Les machines synchrones à courant alternatif doivent être soumises à des essais de type ayant pour objet de vérifier leur conformité à 9.11.2. La gamme des fréquences de mesure doit couvrir tous les harmoniques à partir de la fréquence assignée jusqu'au 100<sup>ième</sup> harmonique.

La *DHT* peut être mesurée soit directement à l'aide d'un appareil de mesure associé à un réseau spécialement établi à cet effet, soit chaque harmonique individuel est mesuré, la *DHT* étant calculée à partir des valeurs mesurées par la formule suivante:

$$DHT = \sqrt{\sum_{n=2}^k u_n^2}$$

où

$u_n$  est le rapport entre la tension entre bornes  $U_n$  de la machine sur le fondamental  $U_1$  de la tension de la machine;

$n$  est le rang de l'harmonique;

$k = 100$ .

## 10 Plaques signalétiques

### 10.1 Généralités

Toute machine électrique doit être munie d'une ou de plusieurs plaques signalétiques. Les plaques doivent être réalisées dans un matériau durable et être montées de façon sûre. Les inscriptions doivent être persistantes.

Les plaques signalétiques doivent de préférence être fixées sur la carcasse de la machine et être placées de façon à être facilement lisibles dans la position d'utilisation déterminée par le type de construction et les dispositions de montage de la machine. Si la machine électrique fait partie de l'équipement ou y est incorporée de telle manière que sa plaque signalétique ne soit pas facilement lisible, le constructeur doit sur demande fournir une seconde plaque à fixer sur l'équipement.

### 10.2 Marquage

Pour les machines de puissance assignée inférieure ou égale à 750 W (ou VA) et dont les dimensions ne relèvent pas du domaine de la CEI 60072, au minimum les informations ci-dessous dans les points a), b), k), l) et z) sont indiquées. Pour des machines spécifiques et les machines intégrées dans un ensemble avec des puissances assignées inférieures ou égales à 3 kW (ou kVA) les points a), b), k) et l) doivent être indiqués au minimum et le point z) peut être fourni sous une autre forme.

Dans tous les autres cas, la ou les plaques signalétiques doivent porter un marquage persistant avec les indications de la liste ci-après, pour autant qu'elles sont applicables. Il n'est pas nécessaire que toutes les indications figurent sur la même plaque. Les symboles littéraux des unités et grandeurs doivent être conformes à la CEI 60027-1 et à la CEI 60027-4.

Si le constructeur donne plus d'informations, il n'est pas exigé de les porter sur la ou les plaques signalétiques.

Les indications sont numérotées pour en faciliter la référence, mais l'ordre dans lequel elles apparaissent sur la ou les plaques signalétiques n'est pas normalisé. Les indications peuvent être combinées de façon convenable.

- a) Nom du constructeur ou marque.
- b) Numéro de série du constructeur ou marque d'identification.

NOTE Une marque d'identification unique peut être utilisée pour identifier chaque élément d'un groupe de machines qui ont fait l'objet de la même conception électrique et mécanique et sont produites en un lot unique utilisant la même technologie.

- c) Information permettant d'identifier l'année de fabrication. Celle-ci doit être marquée sur la plaque signalétique ou donnée sur une feuille de données séparée à fournir avec la machine.

NOTE Si cette information peut être obtenue du constructeur à partir des indications données au point b), elle peut être omise à la fois de la plaque signalétique et de la feuille de données séparée.

- d) Code machine du constructeur.
- e) Pour les machines à courant alternatif, nombre de phases.
- f) Référence numérique de la ou des normes de caractéristiques assignées et de caractéristiques de fonctionnement qui sont applicables (CEI 60034-X et/ou norme(s) nationale(s) équivalente(s)). Si la CEI 60034 est indiquée, ceci implique la conformité avec toutes les normes correspondantes de la série CEI 60034.
- g) Degré de protection procuré par la conception globale de la machine électrique tournante (Code IP) conformément à la CEI 60034-5.
- h) Pour les moteurs couverts par la CEI 60034-30, la classe de rendement (code IE) et le rendement assigné comme spécifié dans la CEI 60034-30.
- i) Classification thermique et limite de température ou d'échauffement (quand elle est inférieure à celle de la classification thermique) et, si nécessaire, méthode de mesure, suivie dans le cas d'une machine à hydroréfrigérant de «P» ou «S», selon que l'échauffement est mesuré par rapport au fluide de refroidissement respectivement primaire ou secondaire; voir 8.2. Cette information, écrite avec un trait de fraction oblique, doit être donnée à la fois pour le stator et pour le rotor si leurs classifications thermiques diffèrent.
- j) Classe(s) de caractéristiques assignées de la machine, si celle-ci est conçue pour d'autres caractéristiques que celles pour service continu S1, voir 5.2.
- k) Puissance(s) assignée(s) ou plage de puissance assignée.
- l) Tension(s) assignée(s) ou plage de tension assignée.
- m) Pour les machines à courant alternatif la fréquence assignée ou une plage de fréquence assignée.  
Pour les moteurs universels, la fréquence assignée doit être suivie du symbole approprié: par exemple  $\sim 50 \text{ Hz} / \overline{\text{---}}$  ou c.a. 50 Hz/c.c.
- n) Pour les machines synchrones excitées par aimants permanents la tension en circuit ouvert à la vitesse assignée.
- o) Courant(s) assigné(s) ou plage de courant assigné.
- p) Vitesse(s) assignée(s) ou plage de vitesse assignée.
- q) Survitesse admissible si différente de celle spécifiée en 9.7.  
ou  
la vitesse maximale de sécurité en fonctionnement si elle est inférieure à la valeur donnée en 9.6 ou si la machine est conçue spécialement pour fonctionnement à vitesse variable.
- r) Pour les machines à courant continu à excitation séparée ou à excitation shunt et pour les machines synchrones, tension d'excitation assignée et courant d'excitation assigné.
- s) Pour les machines à courant alternatif, facteur(s) de puissance assigné(s).
- t) Pour les machines à induction à rotor bobiné, tension entre bagues à circuit ouvert et courant rotorique assignés.
- u) Pour les moteurs à courant continu dont l'induit est prévu pour être alimenté par convertisseurs statiques de puissance, code d'identification du convertisseur statique de puissance conformément à la CEI 60971. Autrement, pour des moteurs ne dépassant pas 5 kW, facteur de forme assigné et tension alternative assignée aux bornes d'entrée du convertisseur statique de puissance, si celle-ci est supérieure à la tension directe assignée du circuit d'induit du moteur.
- v) Température maximale de l'air ambiant, si différente de 40 °C.

- Température maximale de l'eau de refroidissement, si différente de 25 °C.
- w) Température minimale de l'air ambiant, si différente de celle spécifiée en 6.4.
  - x) Altitude pour laquelle la machine est conçue (si supérieure à 1 000 m au-dessus du niveau de la mer).
  - y) Pour les machines refroidies par hydrogène, pression de l'hydrogène à la puissance assignée.
  - z) Lorsque spécifié, masse totale approchée de la machine, si supérieure à 30 kg.
  - aa) Pour les machines prévues pour fonctionner dans un seul sens de rotation, sens de rotation, indiqué par une flèche. Il n'est pas nécessaire de placer cette flèche sur la plaque signalétique, mais elle doit être distinguée aisément.
  - bb) Les instructions pour le raccordement en accord avec la CEI 60034-8 au moyen d'un diagramme ou de texte indiqué à proximité des bornes.

Deux valeurs assignées différentes doivent être indiquées par X/Y et une plage de valeurs assignées doit être indiquée par X–Y (voir la CEI 61293).

Sauf pour une maintenance normale, si une machine est réparée ou rénovée, une plaque supplémentaire doit être fournie pour indiquer le nom du réparateur, l'année de la réparation et les modifications effectuées.

## 11 Exigences diverses

### 11.1 Mise à la terre de protection des machines

Les machines doivent comporter une borne de mise à la terre ou autre dispositif permettant le raccordement à un conducteur de protection ou un conducteur de terre.

Le symbole  ou la légende doivent identifier ce dispositif. Cependant les machines ne doivent ni être mises à la terre, ni comporter de borne de mise à la terre si:

- a) elles sont munies d'une isolation supplémentaire ou;
- b) elles sont destinées à être installées dans un ensemble muni d'une isolation supplémentaire ou;
- c) elles ont des tensions assignées inférieures ou égales à 50 V en courant alternatif ou 120 V en courant continu et sont prévues pour fonctionner sur des circuits SELV.

NOTE Le terme SELV est défini dans la CEI 60884-2-4.

Dans le cas des machines de tension assignée supérieure à 50 V en courant alternatif ou 120 V en courant continu, mais ne dépassant pas 1 000 V en courant alternatif ou 1 500 V en courant continu, la borne du conducteur de terre doit être située à proximité des bornes de raccordement des conducteurs de phase, à l'intérieur de la boîte de connexions éventuelle. Les machines de puissance assignée supérieure à 100 kW (ou kVA) doivent également comporter une borne de terre montée sur la carcasse.

Les machines de tension assignée supérieure à 1 000 V en courant alternatif ou 1 500 V en courant continu doivent avoir une borne de terre sur la carcasse, par exemple une languette de fer et, en outre, le cas échéant, un point de connexion à l'intérieur de la boîte de connexions pour raccorder une gaine conductrice de câble.

La borne de terre doit être conçue de manière à assurer une bonne liaison avec le conducteur de terre, sans détérioration du conducteur ou de la borne. Les parties conductrices accessibles qui ne font pas partie du circuit d'utilisation doivent être raccordées les unes aux autres et à la borne de terre, par une liaison électrique de bonne qualité. Si tous les paliers et l'enroulement rotorique d'une machine sont isolés, l'arbre doit être relié électriquement à la

borne de terre, à moins d'un accord entre le constructeur et l'acheteur sur d'autres moyens de protection.

Si la boîte de connexions est équipée d'une borne de terre, il faut supposer que le conducteur de terre est du même métal que les conducteurs de phase.

Si une borne de terre est placée sur la carcasse, le conducteur de terre peut, sur accord, être d'un autre métal (en acier par exemple). Dans ce cas, la conception de la borne doit être étudiée en tenant compte de la conductivité de l'âme du conducteur.

La borne de terre doit être conçue pour admettre un conducteur de terre de la section de l'âme conforme au Tableau 19. Si un câble plus gros est utilisé, il est recommandé que sa section se rapproche autant que possible d'une des autres valeurs de ce tableau.

Pour d'autres sections de conducteurs de phase, le conducteur de terre ou de protection doit avoir une section au moins équivalente à :

- celle du conducteur de phase pour des sections inférieures à 25 mm<sup>2</sup>;
- 25 mm<sup>2</sup> pour des sections comprises entre 25 mm<sup>2</sup> et 50 mm<sup>2</sup>;
- 50 % de celle du conducteur de phase pour des sections supérieures à 50 mm<sup>2</sup>.

La borne de terre doit être identifiée conformément à la CEI 60445.

**Tableau 19 – Section des conducteurs de terre**

Section du conducteur de phase mm <sup>2</sup>	Section du conducteur de terre ou de protection mm <sup>2</sup>
4	4
6	6
10	10
16	16
25	25
35	25
50	25
70	35
95	50
120	70
150	70
185	95
240	120
300	150
400	185

## 11.2 Clavette(s) de bout d'arbre

Quand un bout d'arbre d'une machine est fourni avec une ou plusieurs rainures de clavette, chaque rainure doit être pourvue d'une clavette entière de forme et de longueurs normales.

## 12 Tolérances

### 12.1 Généralités

La tolérance correspond à l'écart maximal admis entre la valeur d'une grandeur obtenue par essai au Tableau 20 et la valeur déclarée sur la plaque signalétique ou dans le catalogue. Si des méthodes et des équipements d'essai conformes aux normes CEI sont utilisés, le résultat d'essai ne doit pas dépasser la valeur d'écart autorisée quel que soit le laboratoire ou l'équipement d'essai. La tolérance ne couvre pas l'incertitude d'une méthode d'essai, c'est-à-dire l'écart entre le résultat d'essai et la valeur réelle.

NOTE Dans le cas d'une production en série, la tolérance s'applique à tout échantillon choisi, c'est-à-dire qu'elle couvre les variations des propriétés des matériaux bruts et des méthodes de fabrication.

### 12.2 Tolérances sur les valeurs des grandeurs

Sauf indication contraire, les tolérances sur les valeurs déclarées doivent être celles spécifiées au Tableau 20.

**Tableau 20 – Nomenclature des tolérances sur les valeurs des grandeurs**

Point	Grandeur	Tolérance
1	Rendement $\eta$ – machines de puissance inférieure ou égale à 150 kW (ou kVA) – machines de puissance supérieure à 150 kW (ou kVA)	–15 % de $(1 - \eta)$ –10 % de $(1 - \eta)$
2	Pertes totales (applicable aux machines de puissance assignée supérieure à 150 kW ou kVA)	+10 % des pertes totales
3	Facteur de puissance, $\cos \phi$ , pour les machines à induction	1/6 $(1 - \cos \phi)$ Minimum de la valeur absolue 0,02 Maximum de la valeur absolue 0,07
4	Vitesse des moteurs à courant continu (à pleine charge et à la température de fonctionnement) <sup>a</sup>	
4a)	Moteurs à excitation shunt ou séparée	$1\ 000\ P_N/n_N < 0,67$ $\pm 15\ %$ $0,67 \leq 1\ 000\ P_N/n_N < 2,5$ $\pm 10\ %$ $2,5 \leq 1\ 000\ P_N/n_N < 10$ $\pm 7,5\ %$ $10 \leq 1\ 000\ P_N/n_N$ $\pm 5\ %$
4b)	Moteurs à excitation série	$1\ 000\ P_N/n_N < 0,67$ $\pm 20\ %$ $0,67 \leq 1\ 000\ P_N/n_N < 2,5$ $\pm 15\ %$ $2,5 \leq 1\ 000\ P_N/n_N < 10$ $\pm 10\ %$ $10 \leq 1\ 000\ P_N/n_N$ $\pm 7,5\ %$
4c)	Moteurs à excitation composée	Les tolérances sont les mêmes que celles du point 4b) sauf accord contraire
5	Variation de vitesse des moteurs shunt ou à excitation composée à courant continu (entre la charge nulle et la pleine charge)	$\pm 20\ %$ de la variation garantie avec un minimum de $\pm 2\ %$ de la vitesse assignée
6	Variation de tension des génératrices à courant continu, à excitation shunt ou séparée, en tout point de la caractéristique	$\pm 20\ %$ de la variation garantie en ce point

Tableau 20 (suite)

Point	Grandeur	Tolérance
7	Variation de tension des génératrices à excitation composée (au facteur de puissance assigné dans le cas du courant alternatif)	$\pm 20$ % de la variation de tension garantie avec un minimum de $\pm 3$ % de la tension assignée. (Cette tolérance s'applique à l'écart maximal, à une charge quelconque, entre la tension observée à cette charge et une droite tracée entre les points de la tension garantie à vide et en charge.)
8 a)	Glissement des moteurs à induction (à pleine charge et à la température de fonctionnement) $P_N < 1$ kW $P_N \geq 1$ kW	$\pm 30$ % du glissement garanti $\pm 20$ % du glissement garanti
8 b)	Vitesse des moteurs à courant alternatif à collecteur à caractéristiques shunt (à pleine charge et à la température de fonctionnement)	– sur la vitesse la plus élevée: –3 % de la vitesse de synchronisme – sur la vitesse la moins élevée: +3 % de la vitesse de synchronisme
9	Courant à rotor bloqué des moteurs à induction à cage avec tout dispositif de démarrage spécifié	+20 % du courant garanti
10	Couple à rotor bloqué des moteurs à induction à cage	+25 % du couple garanti –15 % du couple garanti (+25 % peut être dépassé sur accord)
11	Couple minimal pendant le démarrage des moteurs à induction à cage	–15 % du couple garanti
12	Couple maximal pendant le démarrage des moteurs à induction (couple de décrochage)	–10 % du couple garanti sous réserve qu'après application de cette tolérance le couple reste supérieur ou égal à 1,6 ou 1,5 fois le couple assigné, voir 9.4.1
13	Courant à rotor bloqué des moteurs synchrones	+20 % de la valeur garantie
14	Couple à rotor bloqué des moteurs synchrones	+25 % de la valeur garantie (+25 % peut être dépassé sur accord) –15 % de la valeur garantie
15	Couple de décrochage des moteurs synchrones	–10 % de la valeur garantie sous réserve qu'après application de cette tolérance le couple reste supérieur ou égal à 1,35 ou 1,5 fois le couple assigné, voir 9.4.2
16	Valeur de crête du courant de court-circuit d'un alternateur dans des conditions spécifiées	30 % de la valeur garantie
17	Courant de court-circuit permanent d'un alternateur dans des conditions spécifiées	15 % de la valeur garantie
18	Moment d'inertie	10 % de la valeur garantie
NOTE Lorsqu'une tolérance est spécifiée seulement dans un sens, la valeur n'est pas limitée dans l'autre sens.		
<sup>a</sup> Les tolérances au point 4 dépendent du rapport de puissance assignée $P_N$ en kW, à la vitesse assignée en $\text{min}^{-1}$ .		

## 13 Compatibilité électromagnétique (CEM)

### 13.1 Généralités

Les exigences qui suivent sont applicables aux machines électriques tournantes de tension assignée ne dépassant pas 1 000 V (courant alternatif) ou 1 500 V (courant continu) et qui sont destinées à fonctionner dans un environnement industriel.

Les composants électroniques qui sont montés à l'intérieur de la machine électrique tournante et qui sont essentiels à son fonctionnement (par exemple les systèmes d'excitation tournants) font partie de la machine.

Les exigences qui sont applicables à un système d'entraînement final et à ses composants, par exemple un équipement électronique de puissance et de commande, des machines couplées, des appareils de contrôle, etc., qu'ils soient montés à l'intérieur ou à l'extérieur de la machine, sont hors du domaine d'application de cette norme.

Les exigences de cet article s'appliquent aux machines qui sont fournies directement à l'utilisateur final.

NOTE Les machines destinées à être incorporées en tant que composant dans un système, dont l'enveloppe ou les composants affectent les émissions CEM, sont couvertes par la norme CEM relative au produit final.

Les transitoires (tel qu'au démarrage) ne sont pas couverts par cet article.

## **13.2 Immunité**

### **13.2.1 Machines n'incorporant pas de circuit électronique**

Les machines, sans circuit électronique ne sont pas sensibles aux émissions électromagnétiques dans les conditions normales de fonctionnement et par conséquent, aucun essai d'immunité n'est exigé.

### **13.2.2 Machines incorporant des circuits électroniques**

Les circuits électroniques qui sont incorporés dans les machines utilisent généralement des composants passifs (comme par exemple, les diodes, résistances, varistances, condensateurs, suppresseurs de choc de tension, bobines d'inductance), les essais d'immunité ne sont donc pas exigés.

## **13.3 Emission**

### **13.3.1 Machines sans balais**

Rayonnement et conduction perturbateurs doivent satisfaire aux exigences du CISPR 11, classe B, groupe 1, voir Tableau B.1.

### **13.3.2 Machines avec balais**

Rayonnement et conduction perturbateurs (si applicables) doivent satisfaire aux exigences du CISPR 11, classe A, groupe 1, voir Tableau B.2.

## **13.4 Essais d'immunité**

Les essais d'immunité ne sont pas exigés.

## **13.5 Essais d'émission**

Les essais type doivent être réalisés en accord avec le CISPR 11, le CISPR 14 et le CISPR 16 comme applicable.

### **13.5.1 Machines sans balais**

Les machines sans balais doivent satisfaire aux limites d'émission de 13.3.1.

NOTE Les émissions provenant des moteurs asynchrones à cage sont toujours si faibles que les essais ne sont pas nécessaires.

### 13.5.2 Machines avec balais

Les machines avec balais, si essayées à vide, doivent satisfaire aux limites d'émission de 13.3.2.

NOTE 1 Les mesures à vide sont justifiées car l'influence de la charge est négligeable.

NOTE 2 Il n'existe pas de conduction perturbatrice provenant de machines à courant continu car elles ne sont pas directement raccordées à une alimentation alternative.

NOTE 3 Les émissions des balais de mise à la terre sont toujours si faibles qu'il n'est pas nécessaire d'effectuer des essais.

## 14 Sécurité

Les machines tournantes conformes à la présente norme doivent satisfaire aux exigences de la CEI 60204-1 ou de la CEI 60204-11 ou, dans le cas de machines tournantes incorporées dans des appareils électrodomestiques et analogues, la CEI 60335-1, selon le cas, sauf spécification contraire spécifiée dans la présente norme, et dans la mesure du possible, elles doivent également être conçues et construites selon la meilleure conception internationalement reconnue pour l'application de ces machines.

NOTE Il est de la responsabilité du constructeur ou de l'assembleur de l'équipement incorporant des machines électriques de s'assurer que l'équipement complet est sûr.

Cela peut conduire à prendre en considération des normes de produits applicables telles que:

La série CEI 60079 (all parts), *Atmosphères explosives* [8]

et d'autres parties de la CEI 60034 y compris:

Les CEI 60034-5, CEI 60034-6 [1], CEI 60034-7 [2], CEI 60034-8, CEI 60034-9 [3], CEI 60034-11 [4], CEI 60034-12 et CEI 60034-14 [5].

De plus, il peut être nécessaire de considérer la limitation de la température de surface et des caractéristiques similaires; voir par exemple la CEI 60335-1, Article 11: Echauffement.

## Annexe A (informative)

### Guide pour l'application du service type S10 et pour l'obtention de la valeur relative de l'espérance de vie thermique $TL$

**A.1** La charge de la machine équivaut à tout moment au service type S1 correspondant à 4.2.1. Cependant, le cycle de charges peut comprendre d'autres charges que la charge assignée basée sur le service type S1. Un cycle de charges comprenant quatre combinaisons distinctes charge/vitesse est indiqué sur la Figure 10.

**A.2** Selon la valeur et la durée des différentes charges dans un cycle, l'espérance de vie relative de la machine basée sur le vieillissement thermique du système d'isolation peut se calculer avec l'équation suivante:

$$\frac{1}{TL} = \sum_{i=1}^n \Delta t_i \times 2^{\frac{\Delta \theta_i}{k}}$$

où

$TL$  est l'espérance de vie thermique en valeur relative par rapport à l'espérance de vie thermique dans le cas du service type S1 à la puissance assignée;

$\Delta \theta_i$  est la différence entre l'échauffement de l'enroulement au cours des différentes charges dans un cycle et l'échauffement basé sur le service type S1 à la charge de référence;

$\Delta t_i$  est la durée réduite (p.u.) d'une charge constante dans un cycle de charge;

$k$  est l'augmentation d'échauffement en kelvins qui conduit à une réduction de 50 % de l'espérance de vie thermique du système d'isolation;

$n$  est le nombre des valeurs distinctes de charges.

**A.3** La valeur de  $TL$  fait partie intégrante de l'identification précise de la classe de caractéristiques assignées.

**A.4** La valeur de  $TL$  ne peut être déterminée que lorsque, en plus de l'information sur le cycle de charge d'après la Figure 10, la valeur  $k$  du système d'isolation est connue. Cette valeur  $k$  doit être déterminée par expérimentation conformément à la CEI 60034-18 dans toute la plage de température couverte par le cycle de charge selon la Figure 10.

**A.5** On peut raisonnablement donner la valeur de  $TL$  sous la seule forme d'une valeur relative. On peut utiliser cette valeur pour établir approximativement la variation réelle de l'espérance de vie thermique par rapport à celle du service type S1 à la puissance assignée car on peut supposer, en considérant les différentes charges existantes dans un cycle, que les autres effets sur l'espérance de vie de la machine (par exemple contraintes diélectriques, influences du milieu) sont sensiblement les mêmes que ceux dans le cas du service type S1 à la puissance assignée.

**A.6** Le constructeur de la machine est responsable de la compilation exacte des différents paramètres servant à déterminer la valeur  $TL$ .

## Annexe B (informative)

### Limites de compatibilité électromagnétique (CEM)

**Tableau B.1 – Limites d'émission électromagnétique pour les machines sans balais**

	Domaine de fréquence	Limites
Rayonnement perturbateur	30 MHz à 230 MHz	30 dB( $\mu$ V/m) quasi crête, mesurée à une distance de 10 m (Note 1)
	230 MHz à 1 000 MHz	37 dB( $\mu$ V/m) quasi crête, mesurée à une distance de 10 m (Note 1)
Conduction perturbatrice aux bornes d'alimentation à courant alternatif	0,15 MHz à 0,50 MHz Les limites décroissent linéairement en fonction du logarithme de la fréquence	66 dB( $\mu$ V) à 56 dB( $\mu$ V) quasi crête 56 dB( $\mu$ V) à 46 dB( $\mu$ V) moyenne
	0,50 MHz à 5 MHz	56 dB( $\mu$ V) quasi crête 46 dB( $\mu$ V) moyenne
	5 MHz à 30 MHz	60 dB( $\mu$ V) quasi crête 50 dB( $\mu$ V) moyenne
NOTE 1 Peut être mesurée à une distance de 3 m en augmentant les limites de 10 dB.		
NOTE 2 Les limites d'émission sont tirées du CISPR 11, Classe B, Groupe 1.		

**Tableau B.2 – Limites d'émission électromagnétique pour les machines avec balais**

	Domaine de fréquence	Limites
Rayonnement perturbateur	30 MHz à 230 MHz	30 dB( $\mu$ V/m) quasi crête, mesuré à 30 m de distance (Note 1)
	230 MHz à 1 000 MHz	37 dB( $\mu$ V/m) quasi crête, mesuré à 30 m de distance (Note 1)
Conduction perturbatrice aux bornes d'alimentation à courant alternatif	0,15 MHz à 0,50 MHz	79 dB( $\mu$ V) quasi crête 66 dB( $\mu$ V) moyenne
	0,50 MHz à 30 MHz	73 dB( $\mu$ V) quasi crête 60 dB( $\mu$ V) moyenne
NOTE 1 Peut être mesurée à une distance de 10 m en augmentant les limites de 10 dB ou à une distance de 3 m avec une augmentation de 20 dB.		
NOTE 2 Les limites d'émission sont tirées du CISPR 11, Classe A, Groupe 1.		

## Bibliographie

- [1] CEI 60034-6, *Machines électriques tournantes – Partie 6: Modes de refroidissement (code IC)*
  - [2] CEI 60034-7, *Machines électriques tournantes – Partie 7: Classification des modes de construction, des dispositions de montage et position de la boîte à bornes (Code IM)*
  - [3] CEI 60034-9, *Machines électriques tournantes – Partie 9: Limites de bruit*
  - [4] CEI 60034-11, *Machines électriques tournantes – Partie 11: Protection thermique*
  - [5] CEI 60034-14, *Machines électriques tournantes – Partie 14: Vibrations mécaniques de certaines machines de hauteur d'axe supérieure ou égale à 56 mm – Mesurage, évaluation et limites de l'intensité vibratoire*
  - [6] CEI 60034-29 *Machines électriques tournantes – Partie 29: Techniques par charge équivalente et par superposition – Essais indirects pour déterminer l'échauffement*
  - [7] CEI 60050-811:1991, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapter 811: Traction électrique*
  - [8] CEI 60079 (toutes les parties), *Atmosphères explosives*
  - [9] CEI 60092 (toutes les parties), *Installations électriques à bord des navires*
  - [10] CEI 60349 (toutes les parties), *Traction électrique – Machines électriques tournantes des véhicules ferroviaires et routiers*
-



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)