

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC
34-2

1972

AMENDEMENT 1
AMENDMENT 1

1995-04

Amendement 1

Machines électriques tournantes –

Deuxième partie:

Méthodes pour la détermination des pertes et
du rendement des machines électriques tournantes
à partir d'essais (à l'exclusion des machines
pour véhicules de traction)

Amendment 1

Rotating electrical machines –

Part 2:

Methods for determining losses and efficiency
of rotating electrical machinery from tests
(excluding machines for traction vehicles)

© CEI 1995 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

Q

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

AVANT-PROPOS

Le présent amendement a été établi par le sous-comité 2G: Méthodes et procédures d'essai, du comité d'études 2 de la CEI: Machines tournantes.

Le texte de cet amendement est issu des documents suivants:

DIS	Rapports de vote
2G(BC)21 2G(BC)22	2G(BC)25 2G(BC)26

Les rapports de vote indiqués dans le tableau ci-dessus donnent toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cet amendement.

Page 6

3 Généralités

Remplacer le second alinéa par le suivant:

Sauf spécification contraire, les appareils de mesure et leurs accessoires tels que transformateurs de mesure, shunts et ponts utilisés pendant ces essais, doivent être d'une classe de précision égale ou inférieure à 0,5 (CEI 51) excepté les wattmètres triphasés et les wattmètres pour faible facteur de puissance pour lesquels est spécifiée une classe de précision égale ou inférieure à 1,0.

Page 8

3.1 Liste des symboles

Remplacer la liste des symboles par ce qui suit:

C	= constante de ralentissement
I	= courant
I_1	= courant en charge à la tension nominale
I_{1r}	= courant primaire principal à tension réduite
I_o	= courant à vide à la tension nominale
I_{or}	= courant à vide à tension réduite
J	= moment d'inertie
n	= vitesse de rotation, en tours par minute
n_N	= vitesse assignée
N	= nombre de révolutions complètes de l'arbre

FOREWORD

This amendment has been prepared by sub-committee 2G: Test methods and procedures, of IEC technical committee 2: Rotating machinery.

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

DIS	Reports on voting
2G(CO)21 2G(CO)22	2G(CO)25 2G(CO)26

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

Page 7

3 General

Replace the second paragraph by the following:

Unless otherwise agreed, measuring instruments and their accessories, such as measuring transformers, shunts and bridges used during the test shall have an accuracy of 0,5 or better (IEC 51), excluding three-phase wattmeters and wattmeters for low power factor, for which an accuracy class shall be 1,0 or better.

Page 9

3.1 List of symbols

Replace the list by the following:

C	= retardation constant
I	= current
I_1	= load current at rated voltage
I_{1r}	= main primary current at reduced voltage
I_o	= no-load current at rated voltage
I_{or}	= no-load current at reduced voltage
J	= moment of inertia
n	= speed of rotation in revolutions per minute
n_N	= rated speed
N	= number of full revolutions of the shaft

P	= pertes qui peuvent être mesurées directement
P_1	= puissance absorbée à la tension nominale
P_{1r}	= puissance absorbée par l'enroulement primaire à tension réduite
P_{Fe}	= pertes dans le fer (voir 6.2 a), 8.1 a) et 10.1 a)
P_f	= pertes par frottement et par ventilation («pertes mécaniques») (voir 6.2 b), 6.2 c), 8.1 b), 8.1 c), 10.1 b) et 10.1 c))
P_k	= pertes en court-circuit représentant les pertes $I^2 R$ en charge dans les enroulements d'induit (voir 10.2) et pertes supplémentaires en charge (voir 10.4)
P_t	= pertes totales pendant l'essai de ralentissement
S	= déplacement angulaire de l'arbre de la machine
s	= glissement
U	= tension d'excitation aux bornes du rhéostat principal
U_e	= tension totale d'excitation
U_n	= tension nominale
U_r	= tension réduite pour essai en charge
δ	= déviation relative de la vitesse rapportée à la vitesse assignée
φ	= angle de déphasage en charge à tension nominale
φ_r	= angle de déphasage en charge à tension réduite
φ_o	= angle de déphasage à vide à tension nominale
φ_{or}	= angle de déphasage à vide à tension réduite

Page 22

7 Détermination du rendement

Ajouter le nouveau paragraphe suivant:

7.1.4.2 *Pertes supplémentaires en charge des moteurs à c.c. alimentés par des convertisseurs statiques*

Si le facteur d'ondulation du courant de l'induit (voir 2.29 de la CEI 34-1:1994) est supérieure à 0,1, les pertes supplémentaires causées par la composante alternative du courant de l'induit doivent être prises en compte en supplément des pertes spécifiées en 7.1.4.

Elles doivent être calculées comme des pertes par courant de Foucault causées par le premier harmonique de la composante alternative indiquée ci-dessus.

La méthode de calcul à utiliser doit faire l'objet d'un accord entre constructeur et acheteur.

P	= losses which can be directly measured
P_1	= power absorbed at rated voltage
P_{1r}	= power absorbed by main primary winding at reduced voltage
P_{Fe}	= iron losses defined in accordance with 6.2 a), 8.1 a) and 10.1 a)
P_f	= friction and windage losses ("mechanical losses") defined in accordance with 6.2 b), 6.2 c), 8.1 b), 8.1 c), 10.1 b) and 10.1 c))
P_k	= short-circuit losses representing the sum of the I^2R losses in operating windings on load in accordance with 10.2 and additional load losses in accordance with 10.4
P_t	= total of the losses during the retardation test
S	= angular displacement of the machine shaft
s	= slip
U	= excitation voltage across terminals of main rheostat
U_e	= total excitation voltage
U_n	= rated voltage
U_r	= reduced voltage for load test
δ	= per unit deviation of rotational speed from rated speed
φ	= load phase angle at rated voltage
φ_r	= load phase angle at reduced voltage
φ_o	= no-load phase angle at rated voltage
φ_{or}	= no-load phase angle at reduced voltage

Page 23

7 Determination of efficiency

Add the following new subclause:

7.1.4.2 Additional load losses in d.c. motors supplied by static power converters

Whenever the current ripple factor (see 2.29, IEC 34-1: 1994) of the armature current exceeds 0,1, the additional losses caused by the a.c. component of the armature current shall be considered in addition to the losses specified in 7.1.4.

They shall be calculated as the eddy current losses caused by the fundamental component of the above-mentioned a.c. component.

The method of calculation used shall be the subject of agreement between manufacturer and purchaser.

Page 22

7.2 *Mesure globale des pertes*

Supprimer ce paragraphe et le remplacer par le suivant:

7.2 *Mesurage des pertes totales*

7.2.1 *Essai en opposition avec marche en parallèle sur un réseau (voir article 16)*

Les machines identiques tournant dans des conditions assignées qui sont pratiquement les mêmes, les pertes couvertes par le réseau sont considérées comme également réparties et le rendement est calculé comme indiqué en 7.3.3.

L'essai doit être effectué à une température aussi voisine que possible de celle atteinte en fonctionnement à la fin du temps spécifié dans le service assigné. Aucune correction tenant compte de la variation de résistance des enroulements avec la température ne doit être effectuée.

Page 24

Ajouter, après le paragraphe 7.2.1, le nouveau paragraphe 7.3:

7.3 *Mesure directe du rendement*

7.3.1 *Essai au frein*

La machine fonctionne dans les conditions assignées de vitesse, de tension et de courant; le rendement est pris égal au rapport de la puissance utile à la puissance absorbée. L'essai doit être effectué à une température aussi voisine que possible de celle atteinte en fonctionnement à la fin du temps spécifié dans le service assigné. Aucune correction tenant compte de la variation de résistance des enroulements avec la température ne doit être effectuée.

7.3.2 *Essai avec machine auxiliaire tarée (voir article 13)*

La machine fonctionne dans les conditions assignées de vitesse, de tension et de courant; le rendement est pris égal au rapport de la puissance utile à la puissance absorbée.

L'essai doit être effectué à une température aussi voisine que possible de celle atteinte en fonctionnement à la fin du temps spécifié dans le service assigné. Aucune correction tenant compte de la variation de résistance des enroulements avec la température ne doit être effectuée.

7.3.3 *Essai en opposition*

Les machines identiques tournant dans des conditions assignées qui sont pratiquement les mêmes, les pertes sont considérées comme également réparties et le rendement est calculé à partir de la moitié des pertes totales et de la puissance électrique absorbée (dans le cas d'un moteur) ou fournie (dans le cas d'une génératrice).

Page 23

7.2 Total loss measurement

Delete this subclause and replace by the following:

7.2 Total loss measurement

7.2.1 Electrical back-to-back tests (see clause 16)

When identical machines are run at essentially the same rated conditions, the losses supplied from the electrical system are assumed to be equally distributed and the efficiency is calculated as 7.3.3.

The test shall be made as nearly as possible at the temperature attained in operation at the end of the time specified in the rating. No winding temperature correction shall be made.

Page 25

Add, after subclause 7.2.1, the following new subclause 7.3:

7.3 Direct measurement of efficiency

7.3.1 Braking test

When the machine is run at rated conditions of speed, voltage and current, the efficiency is then taken as the ratio of output to input. The test shall be made as nearly as possible at the temperature attained in operation at the end of the time specified in the rating. No winding temperature correction shall be made.

7.3.2 Calibrated machine test (see clause 13)

When the machine is run at rated conditions of speed, voltage and current, the efficiency is taken as the ratio of output to input.

The test shall be made as nearly as possible at the temperature attained in operation at the end of the time specified in the rating. No winding temperature correction shall be made.

7.3.3 Mechanical back-to-back test

When identical machines are run at essentially the same rated conditions, the losses are assumed to be equally distributed, and the efficiency is calculated from half the total losses and the electrical input (in the case of a motor) or electrical output (in the case of a generator).

L'essai doit être effectué à une température aussi voisine que possible de celle atteinte en fonctionnement à la fin du temps spécifié dans le service assigné. Aucune correction tenant compte de la variation de résistance des enroulements avec la température ne doit être effectuée.

Page 30

9.2 *Mesure globale des pertes*

Supprimer ce paragraphe et le remplacer par le suivant:

9.2 *Mesurage des pertes totales*

9.2.1 *Essai en opposition avec marche en parallèle sur un réseau (voir article 16)*

Les machines identiques tournant dans des conditions assignées qui sont pratiquement les mêmes, les pertes couvertes par le réseau sont considérées comme également réparties et le rendement est calculé à partir de la moitié des pertes totales et de la puissance électrique absorbée par l'une des machines.

L'essai doit être effectué à une température aussi voisine que possible de celle atteinte en fonctionnement à la fin du temps spécifié dans le service assigné. Aucune correction tenant compte de la variation de résistance des enroulements avec la température ne doit être effectuée.

NOTE – S'il y a lieu d'utiliser une boîte d'engrenages, comme c'est le cas pour les moteurs à induction, il faut déduire les pertes dans celle-ci de la puissance électrique absorbée avant de déterminer les pertes de la machine électrique.

Page 32

Ajouter, après le paragraphe 9.2.1, le nouveau paragraphe 9.3:

9.3 *Mesure directe du rendement*

9.3.1 *Essai au frein*

La machine tournant dans les conditions assignées de vitesse, tension et courant, le rendement est pris égal au rapport de la puissance utile à la puissance absorbée.

L'essai doit être effectué à une température aussi voisine que possible de celle atteinte en fonctionnement à la fin du temps spécifié dans le service assigné. Aucune correction tenant compte de la variation de résistance des enroulements avec la température ne doit être effectuée.

9.3.2 *Essai avec machine auxiliaire tarée (voir article 13)*

La machine tournant dans les conditions assignées de la vitesse, tension et courant conformément à l'article 13, le rendement est pris égal au rapport de la puissance utile à la puissance absorbée.

The test shall be made as nearly as possible at the temperature attained in operation at the end of the time specified in the rating. No winding temperature correction shall be made.

Page 31

9.2 *Total loss measurement*

Delete this subclause and replace it by the following:

9.2 *Total loss measurement*

9.2.1 *Electrical back-to-back test (see clause 16)*

When identical machines are run at essentially the same rated conditions, the losses supplied from the electrical system are assumed to be equally distributed and the efficiency is calculated from half the total losses and the electrical input to one machine.

The test shall be made as nearly as possible at the temperature attained in operation at the end of the time specified in the rating. No winding temperature correction shall be made.

NOTE – Where a gear box is required, as in the case of induction motors, it is necessary for the loss in this to be deducted from the electrical input before determining the losses in the electrical machine.

Page 33

Add, after the subclause 9.2.1, the following new subclause 9.3:

9.3 *Direct measurement of efficiency*

9.3.1 *Braking test*

When the machine is run at rated conditions of speed, voltage and current, the efficiency is taken as the ratio of output to input.

The test shall be made as nearly as possible at the temperature attained in operation at the end of the time specified in the rating. No winding temperature correction shall be made.

9.3.2 *Calibrated machine test (see clause 13)*

When the machine is running in accordance with clause 13 at rated conditions of speed, voltage and current, the efficiency is then taken as the ratio of output to input.

L'essai doit être effectué à une température aussi voisine que possible de celle atteinte en fonctionnement à la fin du temps spécifié dans le service assigné. Aucune correction tenant compte de la variation de résistance des enroulements avec la température ne doit être effectuée.

9.3.3 *Essai en opposition*

Les machines identiques tournant dans des conditions assignées qui sont pratiquement les mêmes, les pertes sont considérées comme également réparties et le rendement doit être calculé à partir de la moitié des pertes totales et de la puissance électrique absorbée. La machine entraînée fonctionne en génératrice asynchrone si on dispose d'une source de puissance réactive magnétisante et si l'on connecte à ses bornes une charge appropriée.

L'essai doit être effectué à une température aussi voisine que possible de celle atteinte en fonctionnement à la fin du temps spécifié dans le service assigné. Aucune correction tenant compte de la variation de résistance des enroulements avec la température ne doit être effectuée.

Page 34

10.1 *Pertes constantes, point c)*

La «Note» du texte doit être numérotée «Note 1».

Ajouter la Note 2 suivante:

NOTE 2 – Pour les machines refroidies indirectement ou directement à l'hydrogène, voir 11.5 de la CEI 34-1.

Page 40

11.1.3 *Pertes en charge*

Supprimer le texte et le remplacer par ce qui suit:

Ces pertes sont des pertes $I^2 R$ dans les enroulements d'induit. Les pertes $I^2 R$ dans les enroulements d'induit sont mesurées normalement au cours de l'essai en court-circuit, décrit en 11.1.4.

Lorsqu'elles doivent être indiquées séparément, ces pertes sont calculées en partant du courant nominal et de la résistance des enroulements ramenée à la température de référence.

11.1.4 *Pertes supplémentaires en charge*

Ajouter la phrase suivante au second alinéa:

Sauf spécification contraire, les pertes supplémentaires en charge sont réputées varier comme le carré du courant de l'induit.

The test shall be made as nearly as possible at the temperature attained in operation at the end of the time specified in the rating. No winding temperature correction shall be made.

9.3.3 *Mechanical back-to-back test*

When identical machines are run at essentially the same rated conditions, the losses are assumed to be equally distributed, and the efficiency shall be calculated from half the total loss and the electrical input. The driven machine operates as an induction generator if a source of reactive power is provided, and a suitable load is connected to its terminals.

The test shall be made as nearly as possible at the temperature attained in operation at the end of the time specified in the rating. No winding temperature correction shall be made.

Page 35

10.1 *Constant losses, item c)*

Existing "Note" shall be marked as "Note 1".

Add the following Note 2:

NOTE 2 – For machines indirectly cooled or directly cooled by hydrogen, see 11.5 of IEC 34-1.

Page 41

11.1.3 *Load losses*

Delete the text and replace it by the following:

These consist of I^2R losses in primary windings. The I^2R losses in the primary winding are normally measured during the short-circuit test described in 11.1.4.

When they are to be given separately, the losses are calculated from the rated current and the resistance of the windings corrected to the reference temperature.

11.1.4 *Additional load losses*

Add to the second paragraph the following sentence:

Unless otherwise specified, it is assumed that the additional load losses vary as the square of the armature current.

Page 42

11.2 *Mesure globale des pertes*

Supprimer ce paragraphe et le remplacer par le suivant:

11.2 *Mesurage des pertes totales*

11.2.1 *Essai en opposition avec marche en parallèle sur un réseau (voir article 16)*

Les machines identiques tournant dans des conditions assignées qui sont pratiquement les mêmes, les pertes couvertes par le réseau sont considérées comme également réparties et le rendement doit être calculé comme indiqué en 11.3.3.

L'essai doit être effectué à une température aussi voisine que possible de celle atteinte en fonctionnement à la fin du temps spécifié dans le service assigné. Aucune correction tenant compte de la variation de résistance avec la température ne doit être effectuée.

11.2.2 *Essai au facteur de puissance nul (voir article 14)*

La machine tournant dans les conditions assignées de vitesse, tension et courant, les pertes totales sont équivalentes à la puissance absorbée au cours de l'essai corrigée pour la différence entre les pertes de courant d'excitation effective et celle en pleine charge.

Page 44

Après le paragraphe 11.2.2, ajouter le nouveau paragraphe 11.3 suivant:

11.3 *Mesure directe du rendement*

11.3.1 *Essai au frein*

La machine tournant dans les conditions assignées de vitesse, tension et courant, le rendement est pris égal au rapport de la puissance utile à la puissance absorbée.

L'essai doit être effectué à une température aussi voisine que possible de celle atteinte en fonctionnement à la fin du temps spécifié dans le service assigné. Aucune correction tenant compte de la variation de résistance des enroulements avec la température ne doit être effectuée.

11.3.2 *Essai avec machine auxiliaire tarée (voir article 13)*

La machine tournant dans les conditions assignées de vitesse, tension et courant, le rendement est pris égal au rapport de la puissance utile à la puissance absorbée.

L'essai doit être effectué à une température aussi voisine que possible de celle atteinte en fonctionnement à la fin du temps spécifié dans le service assigné. Aucune correction tenant compte de la variation de résistance des enroulements avec la température ne doit être effectuée.

Page 43

11.2 *Total loss measurement*

Delete this subclause and replace it by the following:

11.2 *Total loss measurement*

11.2.1 *Electrical back-to-back test (see clause 16)*

When identical machines are run at essentially the same rated conditions, the losses are assumed to be equally distributed and the efficiency shall be calculated as in 11.3.3.

The test shall be made as nearly as possible at the temperature attained in operation at the end of the time specified in the rating. No winding temperature correction shall be made.

11.2.2 *Zero power factor test (see clause 14)*

When the machine is run at rated conditions of speed, voltage and current, the total losses are equivalent to the absorbed power during the test, corrected for the difference between actual and the full-load exciting current losses.

Page 45

Add, after subclause 11.2.2, the new subclause 11.3:

11.3 *Direct measurement of efficiency*

11.3.1 *Braking test*

When the machine is run at rated conditions of speed, voltage and current, the efficiency is taken as the ratio of output to input.

The test shall be made as nearly as possible at the temperature attained in operation at the end of the time specified in the rating. No winding temperature correction shall be made.

11.3.2 *Calibrated machine test (see clause 13)*

When the machine is run at rated conditions of speed, voltage and current, the efficiency is taken as the ratio of output to input.

The test shall be made as nearly as possible at the temperature attained in operation at the end of the time specified in the rating. No winding temperature correction shall be made.

11.3.3 *Essai en opposition*

Les machines identiques tournant dans des conditions assignées qui sont pratiquement les mêmes, les pertes sont considérées comme également réparties et le rendement doit être calculé à partir de la moitié des pertes totales et de la puissance électrique absorbée.

L'essai doit être effectué à une température aussi voisine que possible de celle atteinte en fonctionnement à la fin du temps spécifié dans le service assigné. Aucune correction tenant compte de la variation de résistance des enroulements avec la température ne doit être effectuée.

Page 44

12 Généralités

Remplacer le mot « mesure » par le mot « détermination » aux lignes 16, 17, 19 et 21.

Page 46

15 Méthode de ralentissement

Remplacer la totalité de cet article par ce qui suit:

Une méthode de ralentissement peut être utilisée pour déterminer les pertes séparées des machines électriques tournantes.

Les méthodes de détermination des pertes objet du présent article sont destinées particulièrement aux grandes machines synchrones mais les principes utilisés peuvent être appliqués également aux autres machines (machines asynchrones à courant alternatif et machines à courant continu disposant principalement d'une inertie de rotation appréciable) en tenant compte des pertes appropriées à ces machines.

15.1 Généralités

La méthode de ralentissement est utilisée pour déterminer:

- la somme des pertes dues au frottement dans les paliers et les paliers de butée et des pertes totales par ventilation (« les pertes mécaniques ») dans les machines de tous types;
- la somme des pertes dans le fer et des pertes supplémentaires à vide dans les machines à courant continu et les machines synchrones;
- la somme des pertes en charge I^2R dans les enroulements primaires et des pertes supplémentaires en charge (« les pertes en court-circuit ») dans les machines synchrones.

15.1.1 Bases

Les pertes totales P_t qui ralentissent la machine sont proportionnelles au produit de la vitesse à laquelle ces pertes correspondent et de la décélération à cette vitesse:

11.3.3 *Mechanical back-to-back test*

When identical machines are run at essentially the same rated conditions, the losses are assumed to be equally distributed, and the efficiency shall be calculated from half the total losses and the electrical input.

The test shall be made as nearly as possible at the temperature attained in operation at the end of the time specified in the rating. No winding temperature correction shall be made.

Page 45

12 General

Replace the word "measurement" by the word "determination" in lines 13, 14, 16 and 18.

Page 47

15 Retardation method

Delete all this clause and replace it by the following:

A retardation method can be used for determining the separate losses of rotating electrical machines.

The methods of determination of losses covered by this clause are basically intended for large synchronous machines, but the principles used can also be applied to other machines (a.c. induction and d.c. machines, exhibiting mainly an appreciable rotational inertia) using the appropriate losses for such machines.

15.1 *General*

The retardation method is used to determine:

- sum of the friction loss and windage loss ("mechanical losses") in machines of all types;
- sum of losses in active iron and additional open-circuit losses in d.c. and synchronous machines;
- sum of I^2R losses in an operating winding and additional load losses ("short-circuit losses") in synchronous machines.

15.1.1 *Fundamentals*

The total of the loss P_t which retard the machine is proportional to the product of the speed to which these losses correspond and the deceleration at this speed:

$$P_t = -C n \frac{dn}{dt}$$

Quand n est donné en tr/min et P_t en kW, C est la constante de ralentissement:

$$C = \frac{4 \pi^2 J}{60^2 10^3} = 10,97 \times 10^{-6} J$$

où J est donné en kg/m².

La décélération dn/dt peut être obtenue soit directement en utilisant un accéléromètre, soit indirectement par une des méthodes indiquées ci-dessous en 15.1.2, 15.1.3 et 15.1.4.

15.1.2 Méthode de la corde

Cette méthode nécessite la mesure de l'intervalle de temps $t_2 - t_1$ pendant lequel la vitesse de la machine à l'essai ralentit à partir de $n_N (1 + \delta)$ jusqu'à $n_N (1 - \delta)$, voir la figure 4. Le rapport de l'intervalle de vitesse $2 \delta n_N$ à l'intervalle de temps $t_2 - t_1$ donne approximativement la dérivée de la vitesse par rapport au temps à la vitesse assignée:

$$\frac{2 \delta n_N}{t_2 - t_1} \approx - \frac{dn}{dt} \quad \left| \quad n = n_N \right.$$

La valeur de la déviation δ ne doit pas dépasser 0,1 selon les conditions d'essai et peut être inférieure à celle due aux caractéristiques de la machine.

15.1.3 Méthode de la sécante limite

Cette méthode est une variante de la méthode de la corde destinée aux cas où la vitesse ne peut être augmentée au-dessus de la valeur assignée. Pour t_1 il faut prendre l'instant où la vitesse de rotation à la valeur assignée n_N et pour t_2 les instants où elle prend les valeurs $(1 - \delta) n_N$. La déviation δ prend des valeurs successives décroissantes et la dérivée de la vitesse de rotation par rapport au temps est la limite du coefficient angulaire de la corde passant par les points t_1 et t_2 lorsque δ tend vers zéro, voir la figure 5.

$$\lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\delta n_N}{t_2 - t_1} = - \frac{dn}{dt} \quad \left| \quad n = n_N \right.$$

15.1.4 Méthode de la vitesse de rotation moyenne

Si t_1 , t_2 et t_3 sont les instants successivement enregistrés, et N les tours complets de l'arbre entre deux lectures successives, les valeurs moyennes de la vitesse pendant les intervalles de temps seront:

$$P_t = - C n \frac{dn}{dt}$$

When n is expressed in rev/min and P_t is given in kW, then the retardation constant C is:

$$C = \frac{4 \pi^2 J}{60^2 10^3} = 10,97 \times 10^{-6} J$$

where J is given in kg/m^2 .

The deceleration dn/dt can be obtained either directly, using an accelerometer, or indirectly, by one of the methods given in 15.1.2, 15.1.3 and 15.1.4 below.

15.1.2 Method of the chord

This requires the measurement of the time interval $t_2 - t_1$ during which the speed of the tested machine changes from $n_N (1 + \delta)$ to $n_N (1 - \delta)$, see figure 4. The ratio of speed interval $2 \delta n_N$ to time interval $t_2 - t_1$ is approximately the deceleration at rated speed:

$$\frac{2 \delta n_N}{t_2 - t_1} \approx - \frac{dn}{dt} \quad \Bigg| \quad n = n_N$$

The value of deviation δ shall not be greater than 0,1 and may have to be less than this depending on the characteristics of the machine.

15.1.3 Method of the limiting secant

This is a variant of the method of the chord and is intended to be applied in cases when the speed of rotation cannot be increased above the rated value. The instant of time when the speed of rotation is of the rated value n_N is marked as t_1 , and the time instants at which the speed of rotation acquires the values of $(1 - \delta) n_N$ are marked as t_2 . The deviation δ is successively decreased, and the time derivative of the speed of rotation is the limit of the tangent of the angle made by the line passing through the points t_1 and t_2 with the time axis, as δ approaches zero, see figure 5.

$$\lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\delta n_N}{t_2 - t_1} = - \frac{dn}{dt} \quad \Bigg| \quad n = n_N$$

15.1.4 Method of the average speed of rotation

If t_1 , t_2 and t_3 represent the successively recorded time readings, the shaft making N complete revolutions within the time interval between any two subsequent readings, then the average values of speed during the time intervals shall be:

$$\bar{n}_{12} = \frac{60 N}{t_2 - t_1} \quad \text{et} \quad \bar{n}_{23} = \frac{60 N}{t_3 - t_2}$$

et la décélération de l'arbre à un instant intermédiaire t_2 est:

$$\frac{dn}{dt} \approx \frac{2(\bar{n}_{23} - \bar{n}_{12})}{t_3 - t_1}$$

Les valeurs calculées de décélération sont tracées en fonction des valeurs moyennes de la vitesse de rotation. La valeur de décélération à la vitesse assignée est déterminée à partir de la courbe.

15.2 Composition des essais de ralentissement

15.2.1 Composition des essais avec le moment d'inertie connu

Quand le moment d'inertie d'une partie tournante de la machine est connu par mesure ou par calcul, deux essais de base de ralentissement sont suffisants pour une machine à courant continu: machine non excitée et machine tournant à vide et excitée pour obtenir la tension assignée à la vitesse assignée. Pour une machine synchrone on ajoute un troisième essai de ralentissement avec l'enroulement d'induit en court-circuit, l'excitation étant réglée pour obtenir le courant d'induit assigné.

Le premier essai donne les pertes mécaniques de la machine à l'essai à partir de la formule:

$$P_f = - C n_N \frac{dn}{dt} \quad | \quad 1$$

Le deuxième essai donne les pertes mécaniques et les pertes dans le fer à partir de la formule:

$$P_f + P_{Fe} = - C n_N \frac{dn}{dt} \quad | \quad 2$$

Le troisième essai donne les pertes mécaniques et les pertes en court-circuit d'après la formule:

$$P_f + P_k = - C n_N \frac{dn}{dt} \quad | \quad 3$$

$$\bar{n}_{12} = \frac{60 N}{t_2 - t_1} \quad \text{and} \quad \bar{n}_{23} = \frac{60 N}{t_3 - t_2}$$

and the deceleration of the shaft at an intermediate moment of time t_2

$$\frac{dn}{dt} = \frac{2(\bar{n}_{23} - \bar{n}_{12})}{t_3 - t_1}$$

Calculated values of deceleration are plotted against the average values of speed of rotation. The value of deceleration at the rated speed of rotation is determined from the curve.

15.2 Composition of retardation tests

15.2.1 Composition of tests with known moment of inertia

When the moment of inertia of a machine rotating part is known by measurement or by design, then for a d.c. machine two basic retardation tests are sufficient: the machine running unexcited and the machine running open-circuited, excited at rated voltage at rated speed. For a synchronous machine a third retardation test should be made with the armature winding being short-circuited and the excitation set to give the rated armature current.

The first test gives the mechanical losses of the tested machine from the formula:

$$P_f = -C n_N \frac{dn}{dt} \quad | \quad 1$$

The second test gives the total of mechanical losses and iron losses from the formula:

$$P_f + P_{Fe} = -C n_N \frac{dn}{dt} \quad | \quad 2$$

The third test gives the sum of mechanical losses and short-circuit losses from the formula:

$$P_f + P_k = -C n_N \frac{dn}{dt} \quad | \quad 3$$

Dans les formules ci-dessus

$$\left. \frac{dn}{dt} \right|_1, \left. \frac{dn}{dt} \right|_2, \left. \frac{dn}{dt} \right|_3$$

sont les valeurs de la dérivée de la vitesse par rapport au temps respectivement dans les premier, deuxième et troisième essais.

On définit les pertes dans le fer comme la différence des pertes mesurées dans les deuxième et premier essais.

La somme des pertes I^2R et des pertes supplémentaires dans l'enroulement induit est déterminée comme la différence des pertes mesurées dans les troisième et premier essais. La séparation de cette somme en composants, si besoin était, peut être faite en retranchant de celle-ci les pertes I^2R dans les enroulements d'induit calculées par la résistance de l'enroulement d'induit correspondant à la température d'essai. Pour cette raison la température de l'enroulement doit être déterminée par une méthode appropriée immédiatement après chaque essai de ralentissement avec l'enroulement d'induit en court-circuit.

15.2.2 Composition des essais avec le moment d'inertie inconnu

Si le moment d'inertie de la partie tournante d'une machine est inconnu ou si cette machine est couplée mécaniquement à d'autres parties tournantes, par exemple une turbine, dont l'inertie est inconnue, des essais supplémentaires doivent être effectués pour déterminer la constante de ralentissement C .

S'il est possible de faire fonctionner la machine à l'essai en moteur à vide alimenté par une source de tension, de nombre de phases et de fréquence convenables (dans le cas d'une machine à courant alternatif) et de mesurer la puissance appliquée, égale à la somme des pertes mécaniques et des pertes dans le fer du fait que les pertes I^2R dans l'enroulement d'induit sont habituellement ignorées, alors la constante de ralentissement C est déterminée à partir de la formule:

$$C = \frac{P_f + P_{Fe}}{n_N \left. \frac{dn}{dt} \right|_2}$$

Si la mesure de la puissance est difficile du fait des oscillations de fréquence d'une source d'alimentation, elle peut être remplacée par la mesure de l'énergie apportée à la machine à l'essai à l'aide d'un compteur. De ce fait, il est nécessaire de faire tourner la machine pendant quelque temps dans des conditions d'alimentation constantes.

S'il est impossible de faire fonctionner la machine à l'essai en moteur à vide, il faut ajouter aux trois essais de ralentissement considérés en 15.2.1 un quatrième essai de ralentissement. La machine à l'essai dans ce cas est ralentie par des pertes P qui peuvent être mesurées et qui sont du même ordre que les pertes attendues P_{Fe} et P_k . Dans ce but, on peut utiliser les pertes à vide ou en court-circuit d'un transformateur connecté (qui sont mesurées séparément), ou la charge d'une excitatrice ou d'une génératrice auxiliaire montée sur l'arbre de la machine essayée et débitant sur une résistance ballast.

In the above equations

$$\left. \frac{dn}{dt} \right|_1, \left. \frac{dn}{dt} \right|_2, \left. \frac{dn}{dt} \right|_3$$

are the values of speed derivative in time in the first, second and third tests respectively.

The iron losses are determined as the difference of the losses measured in the second and first tests.

The sum of the I^2R losses and the additional losses in the armature circuit are determined as the difference of losses measured in the third and first tests. Separation of this sum into components, if required, is done by subtracting from it the I^2R losses in the armature circuit calculated from the armature circuit resistance corresponding to the test temperature. For this purpose the winding temperature shall be deduced by the appropriate method of temperature measurement directly after each retardation test with the armature circuit being short-circuited.

15.2.2 Composition of test with unknown moment of inertia

When the moment of inertia of a machine rotating part is not known, or the machine is coupled mechanically to other rotating parts, e.g. a turbine, whose inertia is not known, then some additional tests shall be carried out to determine the retardation constant C .

In the instance where there is a possibility to run the tested machine as an unloaded motor from a power supply of the proper voltage, number of phases and frequency (in the case of a.c. machines), and the power supplied to the tested machine can be measured, (equal to the sum of the mechanical losses and iron losses as the armature circuit I^2R losses are usually ignored), then the retardation constant C is determined from the formula:

$$C = \frac{P_f + P_{Fe}}{\eta_N \left. \frac{dn}{dt} \right|_2}$$

If the measurement of power is difficult because of frequency oscillations of the power supply, then as an alternative the energy supplied to the tested machine may be measured with an integrating meter. For this purpose it is necessary to run the machine as a motor for some time at constant supply conditions.

In the instance where there is no possibility of running the tested machine as an unloaded motor, then, in addition to the three retardation test considered in 15.2.1, one more retardation test shall be conducted. The tested machine in this case is slowed down by any losses P which can be measured and are of the same order as the expected losses P_{Fe} and P_k . For this purpose the open-circuit or short-circuit losses of a connected transformer can be used, which are separately measured. Alternatively, if an exciter or auxiliary generator mounted on the tested machine shaft is available, its load with a ballast resistance may be used.

Lorsque la machine essayée est ralentie par les pertes à vide du transformateur, et que les pertes en court-circuit de la machine à l'essai correspondant au courant à vide du transformateur sont négligées.

$$P_f + P_{Fe} + P = - C \eta_N \left. \frac{dn}{dt} \right|_4 \quad | \quad 4$$

d'où

$$C = \frac{P}{\eta_N \left\{ \left. \frac{dn}{dt} \right|_4 - \left. \frac{dn}{dt} \right|_2 \right\}}$$

Lorsque la machine à l'essai est ralentie par les pertes en court-circuit du transformateur, et que les pertes dans le fer de la machine à l'essai correspondant au flux magnétique de court-circuit du transformateur sont habituellement négligées

$$P_f + P_k + P = - C \eta_N \left. \frac{dn}{dt} \right|_5 \quad | \quad 5$$

d'où

$$C = \frac{P}{\eta_N \left\{ \left. \frac{dn}{dt} \right|_5 - \left. \frac{dn}{dt} \right|_3 \right\}}$$

Lorsque la machine à l'essai est ralentie par la charge d'une excitatrice ou d'une génératrice auxiliaire sur la résistance ballast, les pertes causant le ralentissement ne comportent que les pertes par frottement P_f de la machine à l'essai et de la charge mesurée P (compte tenu du rendement de la machine de charge qui peut être déduit de calculs):

$$P_f + P = - C \eta_N \left. \frac{dn}{dt} \right|_6 \quad | \quad 6$$

de sorte que

$$C = \frac{P}{\eta_N \left\{ \left. \frac{dn}{dt} \right|_6 - \left. \frac{dn}{dt} \right|_1 \right\}}$$

15.3 Procédure d'essai de ralentissement

15.3.1 Etat d'une machine à l'essai pendant les essais de ralentissement

Une machine à l'essai doit être assemblée complètement comme pour le fonctionnement normal. Les paliers doivent être «rodés» avant l'essai. La température du fluide de refroidissement doit être ajustée autant que possible à la température normale à laquelle il est

If the tested machine is slowed down by the transformer open-circuit losses, and the short-circuit losses according to the transformer open-circuit current are ignored, then

$$P_f + P_{Fe} + P = -C n_N \left. \frac{dn}{dt} \right|_4 \quad 4$$

hence

$$C = \frac{P}{n_N \left\{ \left. \frac{dn}{dt} \right|_4 - \left. \frac{dn}{dt} \right|_2 \right\}}$$

When the tested machine is slowed down by the transformer short-circuit losses, usually the iron losses corresponding to magnetic flux in the short-circuited transformer are ignored. Hence

$$P_f + P_k + P = -C n_N \left. \frac{dn}{dt} \right|_5 \quad 5$$

and

$$C = \frac{P}{n_N \left\{ \left. \frac{dn}{dt} \right|_5 - \left. \frac{dn}{dt} \right|_3 \right\}}$$

When the tested machine is slowed down by an exciter or auxiliary generator loaded with a ballast resistance, the retardation losses consist only of the tested machine mechanical losses P_f and the measured load P (with allowance for efficiency of the load machine that can be determined by calculations). Hence:

$$P_f + P = -C n_N \left. \frac{dn}{dt} \right|_6 \quad 6$$

so that

$$C = \frac{P}{n_N \left\{ \left. \frac{dn}{dt} \right|_6 - \left. \frac{dn}{dt} \right|_1 \right\}}$$

15.3 Retardation test procedure

15.3.1 State of a tested machine during retardation tests

A tested machine shall be completely assembled as for normal operation. The bearings shall be "run in" prior to the test. The air temperature shall be adjusted wherever possible to the normal temperature at which the windage loss measurement is required by throttling

nécessaire de mesurer les pertes par ventilation par l'ajustement du débit du fluide de refroidissement. Les températures des paliers doivent être ajustées à la température normale à laquelle les paliers fonctionnent avec la charge assignée, par l'ajustement du débit du fluide de refroidissement.

15.3.2 *Machine à l'essai couplée avec d'autres mécanismes*

Si possible, la machine à l'essai doit être désaccouplée des machines connectées mécaniquement, par exemple d'une turbine dans le cas d'un générateur hydraulique. Si la machine ne peut pas être désaccouplée, il faut prendre toutes les mesures pour réduire les pertes mécaniques dans ce mécanisme, par exemple, par son démontage partiel. Dans le cas d'un générateur hydraulique, l'eau doit être évacuée de la chambre de la roue de turbine. De même, il faut prendre des mesures pour éliminer la possibilité de l'écoulement de l'eau du côté de l'amont et de son aspiration par la roue motrice tournante de la turbine du côté de l'aval. La rotation de la roue motrice tournante de la turbine dans l'air produit des pertes par ventilation qui peuvent être appréciées par l'expérimentation ou par les calculs par accord entre le constructeur et l'acheteur.

15.3.3 *Rotation d'une machine à l'essai*

Dans certains cas, la machine à l'essai peut être entraînée par sa turbine, par exemple, dans le cas d'une turbine Pelton, où le courant d'eau vers la roue peut être interrompu instantanément. Toutefois, la machine à l'essai fonctionne en général en moteur à vide alimenté par une source séparée avec une vitesse variable dans de larges proportions. Dans tous les cas la machine à l'essai doit être excitée par une source indépendante avec un contrôle de tension rapide et précis. L'excitation par l'excitatrice accouplée mécaniquement n'est pas en principe recommandée mais peut être permise au cas où la déviation δ de la vitesse est relativement faible, par exemple, si elle ne dépasse pas 0,05. Dans tous les cas, il faut tenir compte des pertes dans les excitatrices couplées à l'arbre de la machine à l'essai.

15.3.4 *Procédures réalisées avant le début des essais*

Chaque essai débute en augmentant rapidement la vitesse de la machine à l'essai jusqu'à une valeur dépassant la limite $(1 + \delta) n_N$ d'une quantité telle que pendant le ralentissement jusqu'à cette vitesse la machine puisse être placée dans les conditions exigées, notamment:

- la machine est déconnectée d'une source d'alimentation;
- en cas de ralentissement par les pertes mécaniques uniquement, le champ de la machine à l'essai est supprimé;
- en cas de ralentissement par la somme des pertes mécaniques et des pertes en court-circuit, le champ est supprimé, les bornes de l'enroulement d'induit sont court-circuitées et la machine est excitée au courant de court-circuit présélectionné;
- en cas de ralentissement par les pertes d'un transformateur la machine à l'essai est connectée au transformateur préalablement placé dans un certain état (à vide ou en court-circuit) après la suppression du champ et excitée aux valeurs présélectionnées de courant ou de tension à vide;
- en cas de ralentissement par les pertes en charge de l'excitatrice ou d'une génératrice auxiliaire montée sur l'arbre de la machine, le champ de la machine à l'essai est supprimé et la charge spécifiée est établie simultanément.

the air coolant flow. The bearing temperatures shall be adjusted to the normal temperature at which the bearings operate with rated load, by adjusting the coolant flow.

15.3.2 *Tested machine coupled with other mechanisms*

When possible, the tested machine shall be uncoupled from other rotating parts. If the machine cannot be uncoupled, all possible steps shall be taken to reduce the mechanical losses in other rotating parts, e.g. by partial dismantling or in the case of a water turbine, by removing water from the runner chamber. Means shall also be taken to eliminate the possibility of water flowing from the upstream side and from drawing water by the rotating runner from the downstream side. Rotation of the runner in the air produces windage losses which can be stated experimentally or from calculations by agreement between manufacturer and purchaser.

15.3.3 *Rotation of a tested machine*

In some cases the tested machine can be driven by its normal prime mover, e.g. by Pelton turbine where the water supply to the runner can be cut off instantly. However, the tested machine is usually running as a motor on no-load, fed from a separate source with a wide range of variable speed. In all cases the excitation shall be obtained from a separate source with a rapid and precise voltage control. The excitation from the inherent mechanically-coupled exciter is not recommended in principle, but may be permitted in those cases when the value of the deviation of speed δ is relatively small, e.g. it does not exceed 0,05. In all these cases the losses in exciters coupled to the shaft of the tested machine shall be taken into account.

15.3.4 *Procedure performed prior to starting the tests*

Each test begins with the tested machine being rapidly accelerated to a speed above $(1 + \delta) n_N$ so that during deceleration to this speed the machine can be placed in the required condition, namely:

- the machine is disconnected from a supply source;
- in the case of retardation by only mechanical loss, the machine field is suppressed;
- in the case of retardation by the sum of the mechanical loss and short-circuit losses, the machine field is suppressed, the armature terminals are short-circuited and the machine is reexcited to the preset short-circuit current;
- in the case of retardation by the transformer losses after field suppression, the tested machine is connected to the transformer previously set to a certain state (at no-load or short-circuit) and excited to the preset values of current or open-circuit voltage;
- in the case of retardation by the exciter load losses or auxiliary generator mounted on the machine shaft, the tested machine field is suppressed and the specified load is set simultaneously.

Dans tous les cas indiqués ci-dessus, un délai suffisant doit séparer le déclenchement de la source d'alimentation et l'origine des mesures, pour que les régimes transitoires électromagnétiques soient amortis.

En cas de ralentissement par la somme des pertes mécaniques, des pertes dans le fer ou par les pertes à vide d'un transformateur, aucune procédure n'est exigée après le déclenchement de la machine à l'essai d'une source, si l'excitation de la machine à l'essai correspond à la tension à vide présélectionnée, et, dans le cas d'une machine synchrone, à la vitesse assignée et au facteur de puissance unité.

15.3.5 *Procédures au cours du ralentissement*

Les lectures de tous les dispositifs de mesure utilisés pour chaque essai (ampèremètre du courant d'excitation, voltmètre de la tension à vide, ampèremètre du courant de court-circuit) ainsi que les lectures de tous les instruments exigés pour mesurer la puissance lors des essais supplémentaires de ralentissement lorsque le moment d'inertie J est inconnu, doivent être prises au moment du passage de la machine à l'essai à la vitesse assignée; en cas de ralentissement d'une machine non excitée aucune lecture n'est exigée pour l'instant.

Les valeurs mesurées de la tension à vide et du courant de court-circuit ne doivent pas différer des valeurs présélectionnées de ± 2 %. La valeur finale calculée de la dérivée de la vitesse par rapport au temps pour chacun des essais doit être ramenée aux valeurs présélectionnées à partir d'une loi proportionnelle au carré du rapport de la valeur présélectionnée à celle mesurée.

15.3.6 *Programme d'essais de ralentissement*

Les essais de ralentissement doivent être effectués en série sans interruption, autant que possible. Il est recommandé de commencer et de terminer chaque série d'essais par des essais de ralentissement avec la machine non excitée. Si pour quelque raison l'exécution continue des essais n'est pas possible, il est alors recommandé de commencer et de terminer chaque série d'essais par des essais de ralentissement sur une machine non excitée.

Les essais peuvent être soit répétés plusieurs fois avec les mêmes valeurs présélectionnées de tension à vide ou du courant de court-circuit, par exemple les valeurs assignées, soit réalisés avec des valeurs variant dans des limites étroites, par exemple de 95 % à 105 % des valeurs assignées. Dans le premier cas, les valeurs moyennes arithmétiques obtenues à partir de toutes les mesures sont réputées les valeurs réelles mesurées de chaque type de pertes. Dans le deuxième cas, les valeurs sont portées sur une courbe en fonction de la tension et du courant. Les valeurs réelles mesurées des pertes sont réputées celles qui correspondent aux valeurs présélectionnées de tension ou de courant sur les courbes tracées.

Les essais supplémentaires de ralentissement lorsque le moment d'inertie de la machine à l'essai n'est pas connu, doivent être effectués aux mêmes valeurs de tension ou de courant que celles obtenues à vide ou en court-circuit. Si cela n'est pas possible, les valeurs respectives doivent être déterminées à partir des courbes comme indiqué ci-dessus.

In all cases described above a sufficient time delay shall separate the switching off of the supply and starting the measurements to allow electromagnetic transients to decay.

In the case of retardation by the sum of mechanical and iron losses or by the open-circuit losses of a supply transformer, no procedures are required after the machine is disconnected from the supply if the tested machine excitation corresponds to the preset open-circuit voltage, in the case of a synchronous machine, at rated speed and unity power factor.

15.3.5 *Procedures during retardation*

The readings of all instruments used for each test (field current ammeter, open-circuit voltage voltmeter, short-circuit current ammeter) and of all instruments required to measure the power in additional retardation tests when the moment of inertia J is not known shall be taken at the instant when the tested machine passes through rated speed; no readings at this instant are required in the case of an unexcited retardation test.

The measured values of open-circuit voltage or short-circuit current shall not differ from the preset values by more than $\pm 2\%$. The calculated final value of the speed derivative in time for each of the tests shall be adjusted proportionally by the ratio of the square of the preset value to the measured value.

15.3.6 *Programme of retardation tests*

The retardation tests shall be conducted as a series without interruption, whenever possible. It is recommended that the series start and finish with some retardation tests of an unexcited machine. If for any reason the test series is not conducted in a continuous manner then it is recommended that each subsequent series of tests start and finish with some unexcited retardation tests.

Tests may be either repeated several times at the same preset values of open-circuit voltage or short-circuit current, e.g. at rated values, or at various values within limits of the order of 95 %-105 % of the rated values. In the first case the arithmetic mean values obtained from all measurements are assumed to be the real measured value of each type of loss. In the second case the values are plotted on a curve as a function of voltage or current. Real measured values are assumed to be those occurring at the points of intersection of the preset values of voltage or current as read from the curves.

Additional retardation tests, when the moment of inertia of the tested machine is not known, shall be conducted at the same values of voltage or current as those obtained with the winding open or short-circuited. If this is not possible the respective values shall be determined from curves as indicated above.

15.4 Exécution des mesures

15.4.1 Méthodes de mesures

Le but des mesures effectuées au cours d'essais de ralentissement est l'obtention de la valeur cherchée de la dérivée de la vitesse par rapport au temps et peut être obtenue par une des trois méthodes:

- a) par la méthode accélérométrique – mesure directe de la décélération en fonction du temps:

$$\frac{dn}{dt} = f(t);$$

- b) par la méthode tachymétrique – mesure de la vitesse en fonction du temps:

$$n = f(t);$$

- c) par la méthode chronographique – mesure du déplacement angulaire de l'arbre de la machine à l'essai en fonction du temps:

$$S = f(t).$$

Les dispositifs de mesure peuvent être utilisés dans tous les cas pour l'enregistrement continu aussi bien que discontinu des valeurs à mesurer et du temps.

15.4.2 Méthode accélérométrique

La fonction vitesse par rapport au temps pour les grandes machines ayant un circuit de ventilation compliqué peut ne pas être complètement uniforme. De ce fait, les valeurs instantanées de décélération au cours du ralentissement au moment du passage à la vitesse assignée peuvent être aléatoires. Par conséquent, les vraies valeurs de la dérivée de la vitesse par rapport au temps peuvent être déterminées par la courbe des décélérations mesurées par rapport au temps ou à la vitesse et en utilisant une courbe appropriée fournie ou une technique de corrélation.

15.4.3 Méthode tachymétrique

D'après la courbe de la vitesse en fonction du temps tracée suivant les résultats des mesures, on définit les instants auxquels cette vitesse prend les valeurs indiquées pour les méthodes de la corde ou de la sécante limite. Les intervalles de temps entre les instants correspondants à la vitesse inférieure et à la vitesse supérieure sont utilisés pour le calcul des valeurs de décélération pendant le ralentissement.

Si sur l'arbre de la machine essayée il y a une excitatrice ou une autre machine électrique, elle peut être utilisée comme génératrice tachymétrique à condition que le signal de tension ne pulse pas avec la vitesse de rotation de la machine à l'essai. L'excitation doit être alimentée par une source stable de courant continu, par exemple par une batterie d'accumulateurs séparée.

Lorsque le signal de tension pulse avec la vitesse, ou lorsqu'une telle machine sur l'arbre de la machine en essai est absente, une machine à courant continu peut être couplée. Elle peut être entraînée par l'arbre de la machine à l'essai au moyen d'une transmission par courroie sans soudure ou par une autre méthode assurant une rotation uniforme.

15.4 *Taking of measurements*

15.4.1 *Methods of measurements*

The measurements taken during retardation tests are aimed at obtaining the required value of the speed derivative in time and may be performed by one of the three methods:

- a) accelerometric – direct measurement of deceleration with time:

$$\frac{dn}{dt} = f(t);$$

- b) tachometric – by determining the dependence of speed with time:

$$n = f(t);$$

- c) chronographic – by determining the dependence of angular displacement of the tested machine shaft with time:

$$S = f(t).$$

For all cases recording measuring instruments may be used both with continuous and with discrete recording of measured values and time.

15.4.2 *Accelerometric method*

The dependence of speed on time for large machines having a complex ventilation route may not be regular. As a consequence of this the instantaneous values of deceleration during retardation at the moment of passing through rated speed may be random. Therefore, true values of the speed derivative may be determined by plotting measured decelerations versus time or speed and using a suitable curve fitting or correlation technique.

15.4.3 *Tachometric method*

A plot of speed versus time is obtained from the results of measurements. On this plot the time instants are defined at which the speed acquired the values indicated for the chord or limiting secant method. The differences between the times at the lower and upper limits of speed are used to calculate the decelerations.

If there is an exciter or any other electrical machine on the tested machine shaft, it can be used as a tachogenerator, provided that the voltage signal does not pulsate with the speed of rotation of the tested machine. The excitation shall be supplied from a stable d.c. source, such as a separate storage battery.

If the voltage signal does pulsate with the speed of rotation or when there is no such tachogenerator on the tested machine, a coupled d.c. machine may be used. It can be driven from the shaft of the tested machine by a seamless belt or by other means to provide smooth rotation.

Les lectures de vitesse peuvent être relevées soit aux intervalles de temps exacts spécifiés par les méthodes respectives, de ce fait il n'y a aucun besoin d'un enregistrement spécial de temps, soit avec les signaux de l'arbre de la machine à l'essai; dans ce cas les lectures de temps doivent être enregistrées simultanément avec les lectures de la vitesse. Il n'y a aucun besoin de faire les relevés à chaque révolution de l'arbre; en général 30 à 40 lectures pendant la totalité de l'essai sont tout à fait suffisantes.

Lorsque des instruments de mesure de haute précision sont disponibles, la mesure de vitesse de rotation peut être remplacée par la mesure des valeurs instantanées de vitesse ou de la période de la tension de la machine à l'essai ou de toute autre machine à courant alternatif couplée sur son arbre; il n'est pas nécessaire que le nombre de paires de pôles des deux machines soit égal.

15.4.4 *Méthode chronographique*

Les compteurs de temps utilisés peuvent être des indicateurs visuels avec mouvement continu (non pas-à-pas) du pointeur ou des indicateurs digitaux avec imprimantes (électriques ou mécaniques).

Les enregistrements du temps doivent être effectués en fonction des signaux obtenus à partir de l'arbre de la machine essayée, soit pour une révolution complète de l'arbre, soit pour un nombre entier de révolutions.

NOTE – Lorsque, en utilisant la méthode tachymétrique, les indications de vitesse sont obtenues d'après les signaux provenant de l'arbre de la machine à l'essai, les lectures du temps peuvent réunir la méthode chronographique et la méthode tachymétrique dans le but de leur contrôle mutuel.

En certains cas, lorsque le groupe a des caractéristiques de décélération uniforme, une précision suffisante peut être obtenue par la mesure du temps de ralentissement entre deux vitesses présentant la même différence par rapport à la vitesse assignée:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{\Delta n}{\Delta t}$$

La fréquence de tension au stator assure la meilleure détermination de la vitesse sur une machine synchrone.

15.4.5 *Mesure des pertes dans les paliers*

Les pertes dans les paliers et dans les paliers de butée peuvent être soustraites de la somme totale des pertes par frottement, si exigé. Elles peuvent être déterminées par la méthode calorimétrique conformément à la CEI 34-2A. Si la machine à l'essai utilise le refroidissement direct pour les paliers, ces pertes sont distribuées entre la machine à l'essai et toute autre machine couplée mécanique, par exemple une turbine, proportionnellement aux masses de leurs parties tournantes. En l'absence de refroidissement direct la distribution des pertes dans les paliers peut être déterminée d'après les formules empiriques par accord entre constructeur et acheteur.

Readings of the speed may be made either in the exact time intervals, specified by the respective method, in which case there is no need for special recording of time or of signals from the tested machine shaft; in this case, the readings of time shall be taken concurrently with readings of speed. There is no need to take readings with each turn of the shaft; usually 30 to 40 readings during the whole test are quite sufficient.

With the availability of high-accuracy measuring instruments, the measurement of speed of rotation may be substituted by measurement of the instantaneous values of speed or of the period of the voltage of the tested machine or of any other a.c. machine situated on its shaft; it is not necessary that the number of pole pairs of both machines is equal.

15.4.4 *Chronographic method*

The time-counters used may be either visual indicators with continuous (non-stepwise) motion of the pointer, or digital indicators with printers (electrical or mechanical).

Time readings shall be taken according to the signals obtained from the tested machine shaft either with each complete revolution of the shaft or for a known number of revolutions.

NOTE – If when using the tachometric method the speed of rotation is determined by signals from the tested machine shaft, then the time readings may be used both for tachometric and chronographic methods, thus providing a mutual check.

In some cases, when the unit has smooth deceleration characteristics, sufficient accuracy can be obtained by measuring the time for retardation between two speeds with the same difference to the rated speed

$$\frac{dn}{dt} = \frac{\Delta n}{\Delta t}$$

The stator voltage frequency provides the best means of determining the speed of a synchronous machine.

15.4.5 *Measurement of losses in bearings*

The losses in bearings and thrust bearings can be subtracted from the total sum of the mechanical losses, if required. These may be determined by the calorimetric method in accordance with IEC 34-2A. If the tested machine uses direct-flow cooling of the bearings, these losses are distributed between the tested machine and any other coupled to it mechanically, such as turbine, in proportion to the masses of their rotating parts. If there is no direct-flow cooling, the distribution of bearing losses shall be determined from empirical formulae by agreement between manufacturer and purchaser.

Page 52

17 Essai calorimétrique

Supprimer "A l'étude" et introduire ce qui suit:

La mesure de pertes par la méthode calorimétrique doit être effectuée en conformité avec la CEI 34-2A.

Page 53

17 Calorimetric test

Delete "Under consideration" and replace by the following:

Measurement of losses by calorimetric methods shall be performed in accordance with IEC 34-2A.

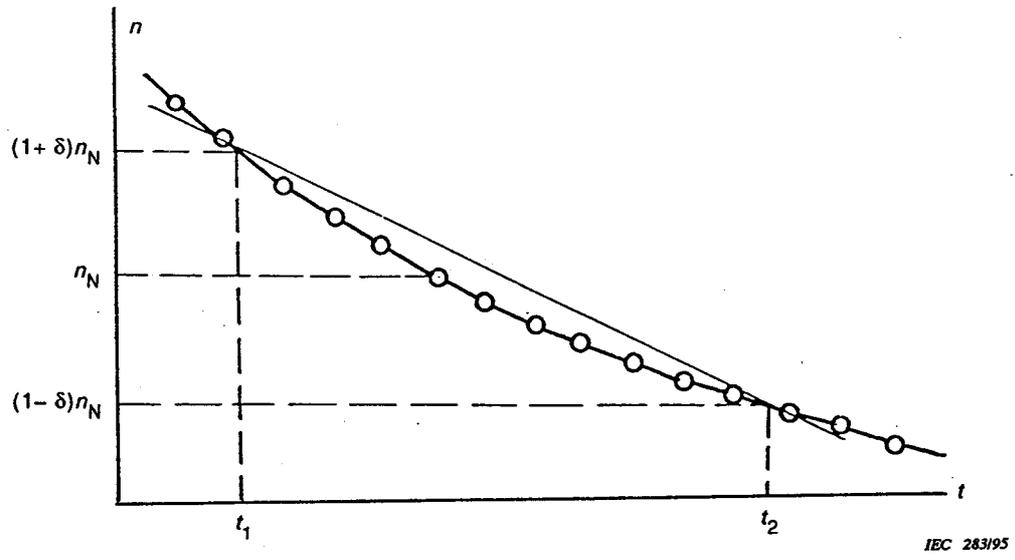


Figure 4 – Méthode de la corde

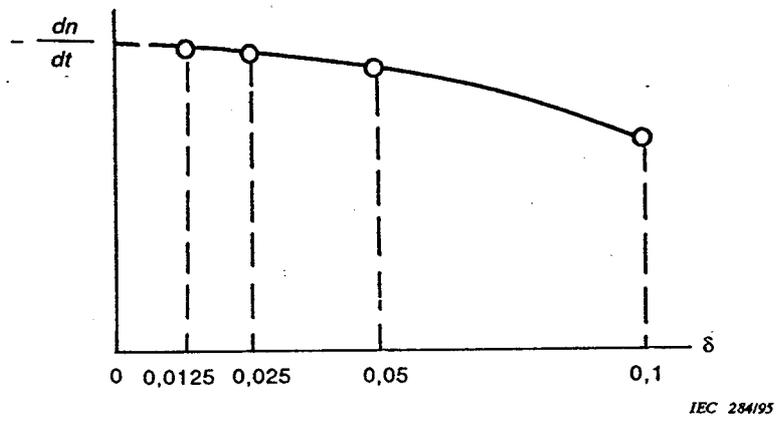


Figure 5 – Méthode de la sécante limite

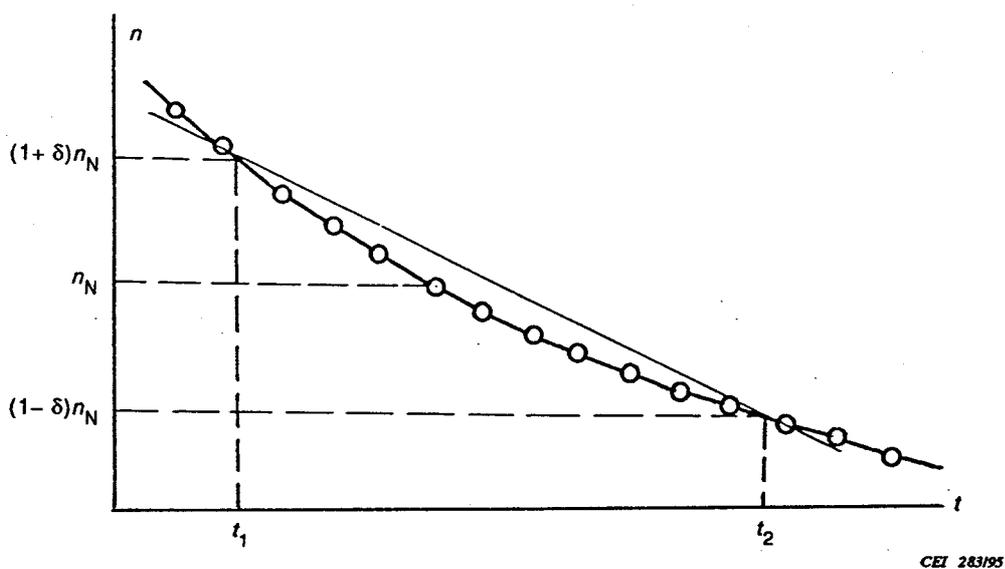


Figure 4 – Method of the chord

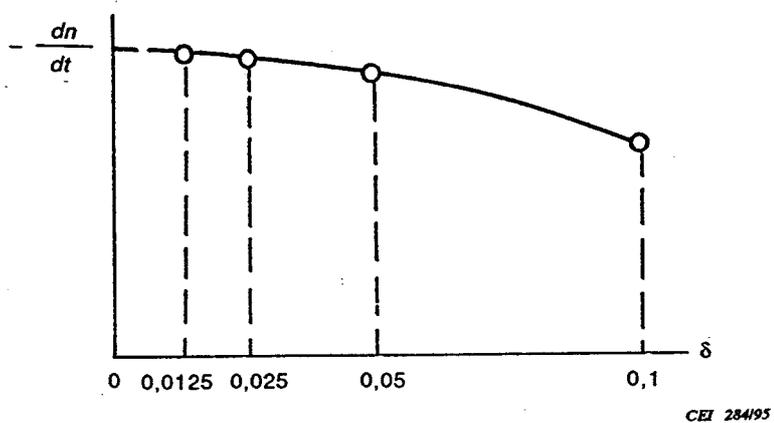


Figure 5 – Method of the limiting secant

ICS 29.160.01

Typeset and printed by the IEC Central Office
GENEVA, SWITZERLAND