

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
34-2A**

Première édition
First edition
1974

Premier complément à la Publication 34-2 (1972)

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)
Mesure des pertes par la méthode calorimétrique

First supplement to Publication 34-2 (1972)

Rotating electrical machines

Part 2:

Methods for determining losses and efficiency
of rotating electrical machinery from tests
(excluding machines for traction vehicles)
Measurement of losses by the calorimetric method



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 34-2A: 1974

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles auprès du Bureau Central de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit tirés du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la CEI 27: *Symboles littéraux à utiliser en électro-technique;*
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles;*
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas;*

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale.*

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available from the IEC Central Office.

Information on the revision work, the issue of revised editions and amendments may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications:

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology;*
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets;*
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams;*

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice.*

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
34-2A**

Première édition
First edition
1974

Premier complément à la Publication 34-2 (1972)

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)
Mesure des pertes par la méthode calorimétrique

First supplement to Publication 34-2 (1972)

Rotating electrical machines

Part 2:

Methods for determining losses and efficiency
of rotating electrical machinery from tests
(excluding machines for traction vehicles)
Measurement of losses by the calorimetric method

© CEI 1974 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni
utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun pro-
cédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et
les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in
any form or by any means, electronic or mechanical,
including photocopying and microfilm, without permission
in writing from the publisher.

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

R

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
INTRODUCTION	6
3.1 Liste des symboles	6

SECTION UN. — GÉNÉRALITÉS

Articles

1. Généralités	8
2. Détermination des pertes P_1 par mesure du débit et de l'échauffement du fluide de refroidissement	8
3. Pertes P_1 déterminées par mesure électrique en utilisant la méthode calorimétrique de tarage	8
4. Conditions de stabilité	10
5. Pertes P_2 non transmises aux fluides de refroidissement	10
6. Pertes à l'extérieur de la surface de référence P_e	12

SECTION DEUX — LE FLUIDE REFROIDISSANT EST L'EAU

7. Application et relation de base	14
8. Mesure du débit d'eau	14
9. Mesure de l'échauffement de l'eau	16
10. Précision de la mesure	18

SECTION TROIS — LE FLUIDE REFROIDISSANT EST L'AIR

11. Application et relation de base	18
12. Détermination du débit massique	20
13. Mesure de l'échauffement de l'air	24
14. Détermination de la capacité calorifique de l'air	24
15. Précision de la mesure	24

SECTION QUATRE — CONSIDÉRATIONS PRATIQUES

16. Préparatifs en vue des mesures calorimétriques avec liquides de refroidissement	26
17. Raccordements et équipement pour des mesures calorimétriques avec liquides de refroidissement	28
FIGURES	30

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
INTRODUCTION	7
3.1 List of symbols	7

SECTION ONE — GENERAL

Clause

1. General	9
2. Determination of losses P_1 by measurement of the volume rate of flow and rise in temperature of the cooling medium	9
3. Losses P_1 measured electrically using the calorimetric calibration method	9
4. Stable conditions	11
5. Losses P_2 not transmitted to the cooling medium	11
6. Losses external to the reference surface P_e	13

SECTION TWO — WATER AS THE COOLING MEDIUM

7. Application and basic relationship	15
8. Measurement of water flow	15
9. Measurement of the temperature rise of the water	17
10. Measuring accuracy	19

SECTION THREE — AIR AS THE COOLING MEDIUM

11. Application and basic relationship	19
12. Determination of the mass rate of flow	21
13. Measurement of the temperature rise of the air	25
14. Determination of the specific heat capacity of the air	25
15. Measuring accuracy	25

SECTION FOUR — PRACTICAL CONSIDERATIONS

16. Preparations for calorimetric measurements with liquid coolants	27
17. Connections and equipment for calorimetric measurements with liquid coolants	29
FIGURES	30

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PREMIER COMPLÉMENT À LA PUBLICATION 34-2 (1972)

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)

Mesure des pertes par la méthode calorimétrique

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

PRÉFACE

La présente recommandation a été établie par le Sous-Comité 2D: Pertes et rendement, du Comité d'Etudes N° 2 de la CEI: Machines tournantes.

Elle constitue le premier complément à la Publication 34-2 de la CEI: 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).

Un premier projet fut discuté lors des réunions tenues à Londres en 1968 et à Bucarest en 1970. A la suite de cette dernière réunion, un projet définitif, document 2D(Bureau Central)17, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en août 1971. Des modifications, document 2D(Bureau Central)19, furent soumises à l'approbation des Comités nationaux suivant la Procédure des Deux Mois en février 1973.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

Afrique du Sud (République d')	Italie
Allemagne	Japon
Australie	Norvège
Autriche	Pologne
Belgique	Portugal
Danemark	Roumanie
Egypte	Royaume-Uni
Espagne	Suède
Etats-Unis	Suisse
d'Amérique	Turquie
Finlande	Union des Républiques
France	Socialistes Soviétiques
Israël	Yougoslavie

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

FIRST SUPPLEMENT TO PUBLICATION 34-2 (1972)

Rotating electrical machines

**Part 2 : Methods for determining losses and efficiency of rotating electrical machinery from tests
(excluding machines for traction vehicles)**

Measurement of losses by the calorimetric method

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendations and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

This recommendation has been prepared by Sub-Committee 2D, Losses and Efficiency, of IEC Technical Committee No. 2, Rotating Machinery.

It forms the first supplement to IEC Publication 34-2, Rotating Electrical Machines, Part 2: Methods for Determining Losses and Efficiency of Rotating Electrical Machinery from Tests (Excluding Machines for Traction Vehicles).

A first draft was discussed at the meetings held in London in 1968 and in Bucharest in 1970. As a result of this latter meeting, a final draft, document 2D(Central Office)17, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in August 1971. Amendments, document 2D(Central Office)19, were submitted to the National Committees for approval under the Two Months' Procedure in February 1973.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Portugal
Austria	Romania
Belgium	South Africa (Republic of)
Denmark	Spain
Egypt	Sweden
Finland	Switzerland
France	Turkey
Germany	Union of Soviet
Israel	Socialist Republics
Italy	United Kingdom
Japan	United States
Norway	of America
Poland	Yugoslavia

PREMIER COMPLÉMENT À LA PUBLICATION 34-2 (1972)

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)

Mesure des pertes par la méthode calorimétrique

INTRODUCTION

La méthode calorimétrique peut être utilisée pour déterminer le rendement des machines électriques tournantes :

- soit en déterminant directement les pertes totales en charge,
- soit en déterminant les pertes séparées et en déduisant conventionnellement les pertes totales en faisant la somme des pertes séparées.

Suivant les cas, les mesures calorimétriques peuvent être effectuées de deux façons différentes :

- soit par mesure du débit et de l'échauffement du fluide de refroidissement (méthode directe),
- soit par tarage de l'échauffement du fluide de refroidissement.

Les mesures calorimétriques devront être appliquées à chaque circuit de refroidissement, primaire ou secondaire, séparément.

Les méthodes de détermination des pertes indiquées dans la présente recommandation ont été principalement mises au point pour les gros générateurs, mais les principes employés peuvent également être appliqués à d'autres machines.

Page 8

3.1 Liste des symboles

Compléter la liste existante par les symboles suivants :

P_i = pertes produites à l'intérieur de la surface de référence

P_e = pertes produites à l'extérieur de la surface de référence

P_1 = pertes évacuées par les circuits de refroidissement sous forme de chaleur et qui sont calorimétriquement mesurables

P_2 = pertes non transmises aux fluides de refroidissement mais qui sont évacuées à travers la surface de référence par conduction, convection, radiation, fuites, etc.

c_p = chaleur massique du fluide de refroidissement

Q = débit du fluide de refroidissement

ρ = masse volumique du fluide de refroidissement

Δt = échauffement du fluide de refroidissement, ou différence entre la température de la surface de référence de la machine et la température ambiante externe

v = vitesse de sortie du fluide de refroidissement

α = coefficient de débit

e = erreur sur la mesure des pertes P_1 et P_2

h = coefficient de transmission de chaleur

Δp = différence entre la pression statique dans la tuyère d'aspiration et la pression ambiante

A = section droite de la tuyère d'aspiration

t = température

t_1 = température d'entrée du fluide de refroidissement

t_2 = température de sortie du fluide de refroidissement

b = pression barométrique

FIRST SUPPLEMENT TO PUBLICATION 34-2 (1972)

Rotating electrical machines

Part 2 : Methods for determining losses and efficiency of rotating electrical machinery from tests (excluding machines for traction vehicles)

Measurement of losses by the calorimetric method

INTRODUCTION

The calorimetric method can be used to determine the efficiency of electrical rotating machinery:

- either by the determination of the total losses on load,
- or by the determination of the segregated losses and hence the conventional total loss by summation of the segregated losses.

Depending upon the circumstances, calorimetric measurements may be made in two different ways:

- either by measuring the quantity and rise in temperature of the cooling medium (direct method),
- or by calibration of the rise in temperature of the cooling medium.

The calorimetric measurements should be performed for each cooling circuit, either primary or secondary, separately.

The methods of loss determination given in this recommendation have been devised mainly for large generators, but the principles used can also be applied to other machines.

Page 9

3.1 List of symbols

Complete the existing list of symbols by the following

P_i = losses inside reference surface

P_e = losses outside reference surface

P_1 = losses which are dissipated by the cooling circuits in the form of heat and which can be measured calorimetrically

P_2 = losses not transmitted to the cooling medium but which are dissipated through the reference surface by conduction, convection, radiation, leakage, etc.

c_p = specific heat capacity of the cooling medium

Q = volume rate of flow of the cooling medium

ρ = density of the cooling medium

Δt = rise in temperature of the cooling medium or temperature difference between the machine reference surface and the external ambient temperature

v = exit velocity of cooling medium

α = discharge coefficient

e = error in measurement of losses, P_1 and P_2

h = coefficient of heat transfer

Δp = difference between the static pressure in the intake nozzle and ambient pressure

A = cross-sectional area of the intake nozzle

t = temperature

t_1 = inlet temperature of the cooling medium

t_2 = outlet temperature of the cooling medium

b = barometric pressure

Remplacer l'article 17 par ce qui suit :

SECTION UN — GÉNÉRALITÉS

1. Afin de permettre une classification des pertes totales, on peut définir pour une machine « la surface de référence », c'est-à-dire une surface entourant complètement la machine et telle que toutes les pertes produites à l'intérieur (P_i) doivent être évacuées vers l'extérieur à travers cette surface de référence (voir figure 1, page 30).

Les pertes totales de la machine sont composées des pertes produites :

- à l'intérieur de cette surface P_i ,
- à l'extérieur de cette surface P_e .

Les pertes produites à l'intérieur de la surface de référence P_i peuvent se diviser en deux catégories :

$$P_i = P_1 + P_2$$

P_1 = pertes mesurables par calorimétrie et évacuées sous forme de chaleur par le ou les circuits de refroidissement ; elles constituent la majeure partie des pertes (pertes à l'intérieur mesurables) ;

P_2 = pertes non transmises aux fluides de refroidissement et évacuées à travers la surface de référence par conduction, convection, rayonnement, fuites, etc. Elles constituent une faible partie des pertes totales et peuvent être estimées (pertes à l'intérieur non mesurables).

Note. — P_2 peut être négatif et donc soustrait si la chaleur pénètre à l'intérieur de la surface de référence.

Les pertes produites à l'extérieur de la surface de référence (P_e) peuvent faire partie des pertes contractuelles et, dans ce cas, doivent être mesurées séparément.

Note. — Les pertes des paliers inclus dans la surface de référence sont comprises dans les pertes P_i .

2. Détermination des pertes P_1 par mesure du débit et de l'échauffement du fluide de refroidissement

Pour des conditions stables de fonctionnement, lorsque l'équilibre thermique est atteint, les pertes évacuées par le fluide refroidissant sont :

$$P_1 = c_p \cdot Q \cdot \rho \cdot \Delta t \text{ kW}$$

où :

c_p = chaleur massique du fluide de refroidissement en kJ/(kg K) à la pression p

Q = débit du fluide de refroidissement en m³/s

ρ = masse volumique du fluide de refroidissement en kg/m³ à la température où l'on mesure le débit

Δt = échauffement du fluide de refroidissement en deg K.

Si le fluide de refroidissement est l'eau, la méthode de mesure est exposée à la section deux.

Si le fluide de refroidissement est l'air, la méthode de mesure est exposée à la section trois.

Note. — Les pertes des paliers peuvent être mesurées en utilisant l'huile comme fluide de refroidissement, mais il est préférable d'effectuer la mesure du côté eau de l'échangeur de chaleur huile-eau car les caractéristiques thermiques de l'eau sont mieux connues.

3. Pertes P_i déterminées par mesure électrique en utilisant la méthode calorimétrique de tarage

3.1 Généralités

Cette méthode consiste à déterminer la courbe de tarage de l'échauffement du fluide de refroidissement en fonction des pertes dissipées dans la machine par des essais effectués dans des conditions pour lesquelles les pertes P_i peuvent être connues par des mesures électriques directes. Cette méthode ne nécessite pas l'évaluation des pertes P_2 , pourvu que les conditions d'essai soient adaptées correctement ; cette méthode peut être utilisée lorsque la mesure calorimétrique directe sur le circuit de réfrigération n'est pas possible ou lorsqu'elle conduit à des difficultés de mise en œuvre.

Replace Clause 17 by the following:

SECTION ONE — GENERAL

1. To enable a classification of the total losses to be made, a “reference surface” is defined for the machine. This is a surface completely surrounding the machine such that all losses produced inside it (P_i) are dissipated through it to the outside (see Figure 1, page 30).

The total losses of the machine consist of:

- losses inside the reference surface P_i ,
- losses outside the reference surface P_e .

The losses inside the reference surface P_i can be divided into two categories:

$$P_i = P_1 + P_2$$

P_1 = being losses which can be measured calorimetrically and which are dissipated in the form of heat by the cooling circuits. These constitute the major part of the losses (internal losses which can be measured);

P_2 = being losses not transmitted to the cooling medium and which are dissipated through the reference surface by conduction, convection, radiation, leakage, etc. These constitute a small part of the total losses and can be calculated (internal losses which cannot be measured).

Note. — P_2 may be negative and therefore subtracted when heat flows into the reference surface.

Losses external to the reference surface (P_e) may form part of the specified losses and should then be measured separately.

Note. — Losses in the bearings inside the reference surface are included in the losses P_i .

2. Determination of losses P_1 by measurement of the volume rate of flow and rise in temperature of the cooling medium

In stable operating conditions, and when thermal equilibrium has been achieved, the losses dissipated by the cooling medium are:

$$P_1 = c_p \cdot Q \cdot \rho \cdot \Delta t \text{ kW}$$

where:

c_p = specific heat capacity of the cooling medium in kJ/(kg K) at pressure p

Q = volume rate of flow of the cooling medium in m³/s

ρ = density of the cooling medium in kg/m³ at the temperature at the point of flow measurement

Δt = rise in temperature of the cooling medium in deg K.

If the cooling medium is water, the method of measurement is covered in Section Two.

If the cooling medium is air, the method of measurement is covered in Section Three.

Note. — Bearing losses may be measured using oil as a cooling medium, but it is preferred to measure on the water side of an oil-to-water heat exchanger because the thermal characteristics of water are better known.

3. Losses P_i measured electrically using the calorimetric calibration method

3.1 General

In this method, a calibration curve relating the rise in temperature of the cooling medium to the losses dissipated in the machine is determined by tests carried out under such conditions that the losses P_i can be measured directly by electrical methods. This method does not require the evaluation of the losses P_2 provided the conditions during the tests are correctly adjusted, and this method may be used when direct calorimetric measurement of the cooling circuit is impossible or when difficulties are encountered in putting it into practice.

3.2 Production des pertes pour le tarage

Les pertes de la machine doivent provenir d'une source de puissance électrique permettant une mesure précise. Elles peuvent être produites à l'intérieur de la machine, soit *a)* sous forme des pertes normales de la machine, c'est-à-dire en utilisant la machine en marche en rotation à vide ou en charge selon les pertes désirées, soit *b)* sous forme de pertes produites par effet Joule par une résistance spécialement montée dans la machine pour cet essai, de telle sorte que ces pertes produisent un effet thermique semblable à celui provenant de la machine utilisée en conditions normales.

Il est essentiel, pour obtenir la précision maximale, que la valeur des pertes utilisée pour tracer la courbe de tarage englobe les valeurs que l'on veut mesurer par la méthode calorimétrique de tarage. Si ceci ne peut être réalisé, l'extrapolation de la courbe de tarage fera l'objet d'un accord.

3.3 Détermination des pertes à mesurer

Lorsque la courbe de tarage a été tracée, on fait tourner la machine dans les conditions désirées pour y produire les pertes à mesurer. La mesure de l'échauffement du fluide de refroidissement permet, en se reportant à la courbe de tarage, de déterminer les pertes.

3.4 Conditions à remplir pendant le tarage et la mesure

La machine doit être dans les mêmes conditions pendant ces deux fonctionnements, c'est-à-dire dans la même enceinte, avec le même système de refroidissement et le même montage. La température aux alentours ainsi que les conditions ambiantes devraient, elles aussi, être pratiquement identiques dans les deux cas. Le débit du fluide de refroidissement devrait être maintenu à la même valeur, ses températures « froides » étant aussi voisines que possible.

Les conditions de stabilité décrites à l'article 4 doivent être atteintes avant le relevé des valeurs finales de l'essai et les conditions définies dans les sections 1, 2 et 3 doivent être en conformité avec cette méthode.

4. Conditions de stabilité

Si les conditions de fonctionnement ainsi que la température du fluide de refroidissement à l'entrée de la machine sont suffisamment stables, on considère que l'équilibre thermique est atteint lorsque les contrôles d'élévation de températures et de débit du fluide montrent que les pertes mesurées pendant deux heures sont constantes à $\pm 1\%$ ou que l'élévation de température du fluide ne varie pas de plus de $\pm 1\%$ pendant une heure, le débit du fluide restant constant.

Si la température d'entrée du fluide de refroidissement ou des enroulements varie de plus de $\pm 0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ par heure, l'équilibre thermique peut être très difficile à obtenir; dans de tels cas, une valeur inférieure devrait être recherchée. Dans le cas de la mesure calorimétrique de l'air, cette condition peut être choisie comme critère de stabilité. Toutefois, dans le cas de la détermination des pertes totales ou lorsque les tolérances de mesure ne l'exigent pas, on peut admettre $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ par heure.

Si les conditions de stabilité de la température à l'entrée de la machine ne sont pas satisfaisantes, on peut être conduit à reporter les essais à un moment plus propice.

A titre indicatif, la durée de l'essai sera variable selon la mesure des pertes: 10 h à 20 h pour une mesure des pertes à pleine charge, 15 h à 30 h pour une mesure des pertes à vide non excité.

5. Pertes P_2 non transmises aux fluides de refroidissement

Ce sont:

- les pertes évacuées au sol et dans l'arbre par conduction, souvent négligeables et très difficiles à mesurer,
- les pertes causées par le contact de la surface extérieure de la machine avec l'air ambiant (convection) et avec les parois (rayonnement),

3.2 Generation of losses for calibration

The machine losses shall be derived from an electrical power source to enable them to be measured accurately. They can be produced inside the machine, either *a)* in the form of normal machine losses, i.e. by supplying the machine in the normal way and running it in the unloaded or loaded condition depending upon the losses required, or *b)* in the form of thermal losses from a special resistor inserted into the machine for the test in such a manner that the losses produce a heat flow pattern similar to that occurring in the machine under normal conditions.

It is essential, for maximum accuracy, that the magnitude of losses used to obtain the calibration curve embraces the values which it is desired to measure by the calorimetric calibration method. Where this cannot be achieved, extrapolation of the calibration curve shall be the subject of agreement.

3.3 Measurement of actual losses

When the calibration curve has been obtained, the machine is run in the same condition, but with the losses which it is required to measure being generated in it. Measurement of the coolant temperature rise and reference to the calibration curve then enables this to be done.

3.4 Conditions to be met during calibration and test

The machine shall be in the same physical condition during both these runs, i.e. with the same enclosure, cooling and mounting arrangements. The surrounding temperature and ambient conditions should also be kept as nearly similar as possible. The flow of coolant should be kept the same with its "cooled" temperatures as close as possible.

Stable conditions as described in Clause 4 should be reached before final test values are measured and the conditions defined in Sections 1, 2 and 3 shall be complied with where relevant to this method.

4. Stable conditions

Provided that the operating conditions and inlet temperature of the cooling medium are sufficiently stable, thermal equilibrium can be considered to have been achieved when measurements of rise in temperature and the volume rate of flow of the cooling medium indicate that the losses are constant to within $\pm 1\%$ over a period of two hours, or when the temperature rise of the cooling medium does not vary by more than $\pm 1\%$ in one hour, the volume rate of flow being constant.

If the inlet temperature of the cooling medium or the temperature of the windings varies by more than $\pm 0.3^\circ\text{C}$ per hour, it may be very difficult to achieve thermal equilibrium. In such cases, a lower value should be aimed for. For the calorimetric measurement of air, this condition may be regarded as a criterion of thermal stability. However, for the determination of total losses or when close tolerances on measurement are not required, a variation of $\pm 0.5^\circ\text{C}$ per hour is permissible.

If the inlet temperature of the cooling medium does not conform to the conditions specified above, it may be necessary to postpone the tests until more suitable conditions prevail.

For guidance, the duration of the test will vary depending upon the method of measuring the losses, and is likely to be from 10 h to 20 h for the determination of losses at full load, and from about 15 h to 30 h for the determination of losses at no load.

5. Losses P_2 not transmitted to the cooling medium

These losses consist of:

- the losses dissipated in the foundations and in the shaft by conduction; these are usually negligible and very difficult to measure,
- the losses caused by contact of the external surfaces of the machine with the surrounding atmosphere (convection) and with the housing (radiation),

- pour les machines à réfrigération en circuit ouvert, les pertes correspondant à la variation d'énergie cinétique du fluide (air) circulant dans la machine, généralement faibles, mais qui peuvent être calculées par la formule:

$$P = \frac{\rho Q}{2000} v^2 \text{ kW}$$

où:

Q = débit d'air m³/s

ρ = masse volumique de l'air kg/m³

v = vitesse de sortie de l'air m/s

On cherchera à minimiser ces pertes P_2 (y compris les fuites) par des conditions d'essais et de mesures, par exemple en agissant soit sur le débit du réfrigérant, soit sur sa température, pour réduire les différences de température avec l'air ambiant, en prenant garde toutefois que la précision globale de la mesure de la température n'en soit pas affectée. Ces précautions à prendre sont surtout importantes dans le cas de la mesure des pertes séparées.

Les pertes P_2 peuvent être minimisées par un calorifugeage approprié des surfaces d'échange de chaleur ou de certaines parties de la machine, l'influence connue du coefficient de transmission de chaleur du calorifuge utilisé étant alors introduite dans les calculs. Cette méthode est d'un emploi particulièrement souhaitable aux endroits où il est difficile de supprimer les courants d'air extérieurs, ou de maintenir une température ambiante relativement constante.

En pratique, on ne prendra en considération que les pertes P_2 évacuées par les surfaces de la machine, en conduisant les mesures de telle sorte que la valeur de ces pertes reste inférieure à 2,5% des pertes P_1 mesurées en charge et inférieure à 5% des pertes P_1 mesurées par la méthode des pertes séparées. Ces pertes peuvent être calculées par la formule:

$$\text{Pertes } P_2 = h \times \text{surface (m}^2\text{)} \times \Delta t \text{ (K)}$$

où:

Δt = différence en température entre la surface de référence de la machine et la température ambiante externe.

On admet que la valeur de h , pour les pertes évacuées par les surfaces, est comprise entre 10 W et 20 W/(m² · K), une valeur raisonnable étant de 15 W/(m² · K) lorsqu'on a pris la précaution de supprimer les courants d'air sur les surfaces d'échange. La valeur à utiliser devrait faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur.

Exemples de détermination de h pour les pertes évacuées par les surfaces d'échange en contact avec l'air:

- pour les surfaces extérieures $h = 11 + 3 v \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$

où: v = vitesse de l'air ambiant en m/s, et

- pour les surfaces entièrement comprises dans la surface extérieure de la machine: $h = 5 + 3 v \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$

où: v = vitesse de l'air de refroidissement en m/s (voir figure 1, page 30).

6. Pertes à l'extérieur de la surface de référence P_e

Les pertes P_e comprennent en particulier:

- les pertes dans le rhéostat placé dans le circuit d'excitation principal, dans les organes de régulation de tension, shunt, circuit d'excitation séparé de l'excitatrice,
- les pertes dans l'excitatrice et dans les bagues si leur circuit de refroidissement est indépendant de celui de la machine,
- les pertes par frottement dans les paliers, en totalité ou en partie, suivant qu'ils sont complètement ou partiellement en dehors de la surface de référence.

Ces diverses pertes, évaluées séparément, doivent être ajoutées aux pertes à l'intérieur P_i .

- the losses due to variation in the kinetic energy of the cooling air circulating in a machine having an open-circuit cooling system. These losses are generally small, but can be calculated using the formula:

$$P = \frac{\rho Q}{2000} v^2 \text{ kW}$$

where:

Q = volume rate of flow of air in m^3/s

ρ = density of air in kg/m^3

v = exit velocity of air in m/s .

To reduce losses P_2 (including those due to leakage) to a minimum, the test conditions may be improved by varying either the volume rate of flow or the temperature of the cooling medium in order to reduce the difference in temperature between the system and the ambient air. Care should be taken, however, to ensure that the accuracy of the temperature measurements is not affected by the temperature of the surroundings. These precautions are essential in the measurement of separate losses.

The losses P_2 can be minimized by suitable lagging of the radiating surfaces or portions of the machine, the known heat transmission properties of the lagging material being taken into account in the calculations. This method is particularly suited to locations where it is difficult to suppress external air current or to maintain relatively constant ambient temperature conditions.

In practice, by conducting the tests in such a way that the losses P_2 are less than 2.5% of the losses P_1 measured at full load, and less than 5% of the losses P_1 determined by the method of separate loss measurements, only the losses dissipated at the surface of the machine need to be taken into consideration. These losses may be obtained from the formula:

$$\text{Loss } P_2 = h \times \text{area (m}^2\text{)} \times \Delta t \text{ (K)}$$

where:

Δt = temperature difference between the machine reference surface and the external ambient air temperature.

It is recognized that h for losses dissipated by the surface is between 10 W and 20 W/($\text{m}^2 \cdot \text{K}$), a reasonable figure being 15 W/($\text{m}^2 \cdot \text{K}$) when the precaution has been taken of eliminating air currents over the transfer surfaces. The factor to be used should be agreed between manufacturer and purchaser.

Examples for determining h for losses dissipated from surfaces in contact with air are:

— for external surfaces $h = 11 + 3 v \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

where: v = velocity of ambient air in m/s , and

— for surfaces entirely within the machine's external surface: $h = 5 + 3 v \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

where: v = velocity of cooling air in m/s (see Figure 1, page 30).

6. Losses external to the reference surface P_e .

The losses P_e consist mainly of the following:

- losses in the rheostat in the main excitation circuit, in voltage regulation, shunt and excitation circuits independent of the exciter,
- losses in the exciter and the slip-rings when their cooling circuits are independent of that of the main machine,
- losses by friction in the bearings, either wholly or partially depending on whether they are wholly or partly outside the reference surface.

The above losses, evaluated separately, shall be added to the internal losses P_i .

SECTION DEUX — LE FLUIDE REFROIDISSANT EST L'EAU

7. Application et relation de base

Cette méthode est seulement applicable aux machines à circuit de réfrigération primaire fermé et utilisant l'eau comme fluide réfrigérant secondaire, mais elle est d'un emploi très pratique et conduit à des mesures très précises. Des schémas de raccordement typiques pour les réfrigérants montés en parallèle et en série sont reproduits aux figures 2 et 3, page 31.

Les pertes évacuées par l'eau sont données par la formule:

$$P_1 = c_p \cdot \rho \cdot Q \cdot \Delta t \text{ kW}$$

où:

c_p = chaleur massique de l'eau en kJ/(kg K) (à pression constante $p = 0,1 \text{ MN/m}^2$) déterminée à partir de la figure 4, page 32, comme la valeur moyenne de c_p intégrée entre les températures d'entrée d'eau t_1 et les températures de sortie d'eau t_2

ρ = masse volumique de l'eau (kg/m^3) lue sur la courbe de la figure 4 au point où le débit Q (m^3/s) est mesuré

$\Delta t = t_2 - t_1$, échauffement de l'eau en K

Si l'on met en doute l'exactitude des valeurs utilisées pour c_p et ρ et si, en particulier, l'eau de réfrigération contient des sels, on mesurera c_p et ρ .

Le soin pris dans la préparation et la conduite des mesures ainsi que dans les étalonnages des appareils de mesure est un facteur décisif pour l'obtention de résultats précis.

8. Mesure du débit d'eau

Le réglage du débit d'eau, de façon à obtenir un échauffement facilement mesurable, peut se faire par une vanne en aval de l'appareil de mesure du débit.

La mesure du volume d'eau pourra être faite de différentes façons:

- capacité jaugée,
- déversoirs et déversoirs à ouvertures normalisées,
- compteur volumétrique de précision étalonné,
- débitmètre à hélice ou électromagnétique,
- diaphragme, venturi, tuyère selon la recommandation ISO R541.

8.1 Recommandations diverses concernant la mesure du débit d'eau

8.1.1 Par capacité jaugée

Le volume du réservoir sera choisi de telle façon que le temps de remplissage soit d'au moins une minute.

Les dimensions du réservoir dont le volume ne peut être déterminé que par le calcul seront telles que les variations de volume dues à la pression de l'eau resteront inférieures à 0,02%.

Le débit d'eau ne devra pas changer pendant la mesure.

Deux chronomètres seront utilisés simultanément pour la mesure du temps, ou tout autre moyen de mesure électrique.

8.1.2 Par compteur volumétrique ou débitmètre à hélice

Les instructions du constructeur concernant l'installation de l'appareil de mesures (longueurs droites amont et aval, position, etc.) devront être suivies exactement et on devra faire attention à ce que l'eau ne contienne pas de bulles d'air.

SECTION TWO — WATER AS THE COOLING MEDIUM

7. Application and basic relationship

This method is applicable only to machines provided with a closed primary cooling system and using water as a secondary coolant, but it gives a very practical and accurate method of measurement. Typical connection diagrams for parallel and series connected coolers are given in Figures 2 and 3, page 31.

The losses dissipated by the water are given in the following formula:

$$P_i = c_p \cdot \rho \cdot Q \cdot \Delta t \text{ kW}$$

where:

c_p = specific heat capacity of the water in kJ/(kg K) (at constant pressure $p = 0.1 \text{ MN/m}^2$) determined from Figure 4, page 32, as the integrated mean value of c_p , between inlet temperature t_1 and outlet temperature t_2 of the water

ρ = density of water (kg/m³) shown on the curve in Figure 4 at the point where the rate of flow Q (m³/s) is measured

$\Delta t = t_2 - t_1$, the temperature rise of the water in K.

Where there is any doubt as to the accuracy of the factors employed for c_p and ρ , particularly if the cooling water contains salts, it will be necessary for c_p and ρ to be measured.

The care with which the measurements are made, together with the calibration of the measuring instruments, is a decisive factor in obtaining accurate results.

8. Measurement of water flow

To obtain an easily measurable rise in temperature, the flow of water should be controlled by a valve placed downstream from the flowmeter.

The volume rate of flow of water can be measured by the following methods:

- calibrated tanks,
- weirs and weirs with standardized gates,
- accurately calibrated volume counters,
- electromagnetic or vane type flowmeters,
- orifice plate, venturi meter or nozzles in accordance with ISO Recommendation R541.

8.1 Recommendations for measurement of quantity of water

8.1.1 Measurement by calibrated tanks

The volume of the tank should be such that the filling time is at least one minute.

The dimensions of the tank when its volume is determined by calculation only should be such that the variations in volume due to water pressure are less than 0.02%.

The volume rate of flow of water through the cooling system should not be affected during measurement.

The time should be measured by using either two stop-watches simultaneously or an electrical timing device.

8.1.2 Measurements using volumetric or velocity type flowmeters

The installation of volumetric or velocity type flowmeters in pipes should be in accordance with manufacturer's instructions (straight sections up and downstream, position, etc.) and care should be taken that no air bubbles are present in the water.

On recommande d'étalonner l'instrument de mesure avant et après chaque essai. Cet étalonnage sera fait en conservant les mêmes caractéristiques d'installation qu'en service, et ceci plus particulièrement lorsque l'installation n'aura pas pu être rigoureusement conforme aux instructions du constructeur de l'appareil de mesure.

Dans le cas de la mesure avec un compteur volumétrique, la mesure du temps sera faite simultanément avec deux chronomètres ou tout autre moyen de mesure électrique. Le temps de mesure sera suffisamment long pour permettre une précision convenable et ne sera pas inférieur à 5 min.

Si la mesure est faite avec un débitmètre, on fera environ 20 lectures et on prendra la valeur moyenne.

Note. — On recommande de déterminer les différents points de mesure au moment de l'établissement des plans de la centrale par accord entre fournisseur et acheteur.

Dans certains cas, il peut être souhaitable d'utiliser un montage permettant la mise en service ou hors service de l'appareil de mesure sans interrompre la marche de la machine (voir figure 9, page 36).

9. Mesure de l'échauffement de l'eau

La mesure peut être faite par l'un des moyens suivants:

- des thermocouples ou des sondes à résistance, de préférence en platine, placées directement dans l'eau ou dans des doigts de gant remplis d'huile et montés en opposition de façon à obtenir directement l'échauffement de l'eau. Les sondes en platine conduisent à la précision la plus grande,
- des thermomètres de précision placés dans des doigts de gant remplis d'huile. Afin d'éviter les erreurs systématiques, les thermomètres seront permutés à chaque lecture et le niveau d'huile sera maintenu au niveau voulu.

L'étalonnage des instruments de mesure devra être effectué avant et après les essais.

Cette mesure inclut la différence de température due aux pertes de charge de l'eau dans les réfrigérateurs et dans la canalisation située entre les points de mesures et est estimée à 1 deg C pour une perte de charge de 4,2 MN/m². La puissance correspondant à cette perte de charge doit être déduite des pertes totales ainsi mesurées.

On recommande d'utiliser un enregistreur lorsque le procédé de mesure le permet.

9.1 Position des doigts de gant (voir figure 5, page 33)

Les doigts de gant seront placés au voisinage immédiat de la fosse de l'alternateur et à l'extérieur de celle-ci, mais à une distance telle que le dispositif d'homogénéisation des températures, indiqué ci-dessous, puisse être installé.

Les canalisations de sortie d'eau seront éventuellement calorifugées s'il y a un risque d'échange thermique avec l'extérieur.

La température de l'eau à l'emplacement des doigts de gant devra être homogène. Un dispositif d'homogénéisation pourra éventuellement être installé à cette fin. Cela peut être un coude (ou deux) à 90° combiné avec une conduite dont la longueur est d'environ 20 fois le diamètre. Dans le cas de plusieurs réfrigérants, le débit d'eau de chaque réfrigérant pourra également être ajusté pour avoir la même température d'eau de sortie, ou la mesure sera faite sur chaque réfrigérant séparément.

La profondeur du doigt de gant sera comprise entre 0,6 à 0,8 fois le diamètre de la conduite. Sa paroi devra être aussi mince que possible et d'un matériau à grande conductivité thermique.

9.2 Installation de l'appareil de mesure à l'intérieur du doigt de gant

L'appareil de mesure sera situé le plus près possible du doigt de gant; on ajoutera de l'huile pour améliorer le contact thermique sans remplir complètement le doigt de gant. Un bouchon à la partie supérieure évitera les échanges avec l'air.

Lorsque la température est lue avec des thermocouples ou des sondes à résistance, les fils de sortie seront mis en contact avec la canalisation sur une longueur de 25 cm et isolés thermiquement (voir figure 5).

It is recommended that the measuring instruments should be calibrated before and after the measurements in conditions similar to those prevailing during the measurements, particularly if it is not possible to comply with the method of installation recommended by the manufacturer of the instrument.

In the case of volumetric measurements, the time should be measured with two stop-watches simultaneously or by means of an electrical timing device. The measuring time should be long enough to ensure sufficient accuracy and should be not less than 5 min.

If the measurement is made with a direct reading flowmeter, about 20 readings should be made and an average value taken.

Note. — It is advisable to determine, by agreement between manufacturer and purchaser, the different points of measurement when establishing the layout of power plant.

Under certain conditions, it may even be advisable to include means to install and remove the measuring apparatus without interrupting the operation of the machine (see Figure 9, page 36).

9. Measurement of the temperature rise of the water

The measurement can be made by means of one of the following:

- thermocouples or resistance temperature detectors, preferably platinum, placed directly in the water or in oil-filled thermometer pockets, and positioned opposite each other so as to obtain direct readings of the temperature rise of the water. Greater accuracy is obtainable with the use of platinum resistance temperature detectors,
- precision thermometers placed in oil-filled thermometer pockets. In order to reduce error, the thermometers should be interchanged after each reading and the oil should be maintained at the correct level.

The measuring instruments should be calibrated before and after the tests.

The temperature measurement includes the difference in temperature due to losses in the coolers and associated pipework between measuring points and is assumed to be 1 deg C for a pressure drop of 4.2 MN/m². The loss corresponding to the pressure drop should be subtracted from the total losses measured using this method.

It is recommended that a recording instrument be used when the measuring method permits.

9.1 Positioning of thermometer pockets (see Figure 5, page 33)

The thermometer pockets should be as close as possible to, and outside, the generator pit, but at such a distance from the pit that the equalizing baffle referred to below can be installed.

Where necessary, the water pipes should be lagged to avoid heat transfer to the outside.

The water temperature at the location of the thermometer pockets should be homogeneous. An equalizing baffle should be installed in order to obtain homogeneous flow. It should have one (or two) 90° elbows together with a pipe of length of about 20 times the diameter. With more than one cooler, the water flow from each cooler should be regulated to give the same outlet temperature; alternatively the coolers can be measured separately.

The depth of the thermometer pocket should be between 0.6 and 0.8 times the diameter of the pipe. The walls should be as thin as possible and of a material having high thermal conductivity.

9.2 Installation of the measuring device inside the thermometer pocket

The measuring instrument should be positioned as close as possible to the wall of the pocket, which should be partly filled with oil to improve thermal contact. To avoid heat exchange with the air, the pocket should be provided with a plug.

When the temperature is measured by means of thermocouples or resistance temperature detectors, the leads should be placed in contact with the outer surface of the pipe for a distance of 25 cm and thermally insulated (see Figure 5).

10. Précision de la mesure

La précision obtenue pour la détermination des pertes par la méthode calorimétrique dépend de la méthode de mesure utilisée, du type d'instruments utilisé et de l'erreur sur l'estimation des pertes P_2 . Deux catégories d'erreurs de mesures sont données ci-après dans le tableau I :

- la catégorie A étant adaptée à la plus grande précision que l'on puisse obtenir,
- la catégorie B étant adaptée à un niveau de précision acceptable qui puisse convenir dans la majorité des cas.

Si l'erreur relative sur P_1 , provenant d'une erreur sur P_2 , doit être supérieure à 1,5 % dans le cas de la catégorie A, ou supérieure à 3 % pour la catégorie B, la méthode calorimétrique n'est pas recommandée.

Certaines imprécisions sont communes à toutes les méthodes de mesure, comme par exemple l'instabilité des grandeurs intervenant dans la mesure de vitesse, de tension, d'intensité, etc.

Note. — Les mesures effectuées avec la calorimétrie par l'eau donnent généralement des résultats plus précis que celles effectuées avec l'air. Aussi, si l'on est en présence de bulles de gaz dans l'eau (un verre d'observation permet de les détecter), il est préférable de les éliminer afin d'utiliser la calorimétrie par l'eau, plutôt que d'employer la méthode calorimétrique avec l'air.

TABLEAU I
Erreur de mesure dans la calorimétrie par l'eau

Article	Quantité	Effet de l'erreur e comme pourcentage de P_1	
		Catégorie A	Catégorie B
4	Equilibre thermique ¹⁾	≤ 1	
7	Chaleur massique $\times$ masse volumique de l'eau	≤ 1	
8	Débit d'eau	≤ 1	
9	Echauffement	≤ 1	
5	Estimation des pertes P_2 ²⁾	$\left\{ \begin{array}{l} \leq 0,5 \\ \leq 1,5 \end{array} \right.$	≤ 3
	Pertes P_1 : confiance 95% Limite d'erreur = $\sqrt{\sum e^2}$	$\leq 2,5$	≤ 5

¹⁾ Si l'équilibre thermique n'a pas été atteint, l'erreur peut être sensible.

²⁾ La valeur la plus basse est valable si toutes les précautions définies dans l'article 5 sont observées. La valeur la plus haute pour la catégorie A est donnée dans le cas où P_2 reste inférieur à 5% de P_1 .

SECTION TROIS — LE FLUIDE REFROIDISSANT EST L'AIR

MESURE DANS LE CIRCUIT PRIMAIRE

11. Application et relation de base

La mesure dans le circuit primaire nécessite une expérience en aérodynamique appliquée. Les méthodes de mesures qui doivent être utilisées varient selon les dimensions du système et le type de ventilation adopté.

La méthode calorimétrique par l'air a l'avantage de pouvoir s'appliquer à tous les systèmes de ventilation, en circuit ouvert ou en circuit fermé. Aucun élément de mesure particulier ne doit être incorporé à la machine au moment du montage. C'est pourquoi ces mesures par la méthode calorimétrique par l'air peuvent également s'effectuer sur des machines montées à la centrale et qui n'ont pas été spécialement conçues pour ces mesures. Toutefois, il faut noter que certaines difficultés de mesure peuvent se présenter par suite des vitesses d'air inégales à travers la section de mesure ou par suite d'inégalités de température.

10. Measuring accuracy

Accuracy in the determination of losses by the calorimetric method depends upon the method of measurement employed, the type of instruments used and any error in estimating losses P_2 . Two categories of measurement error are therefore given below in Table I:

- Category A being appropriate to the highest accuracy obtainable,
- Category B being appropriate to an acceptable order of accuracy suitable for the majority of cases.

If the relative error in P_1 caused by an error in P_2 is likely to be greater than 1.5% in the case of Category A, or greater than 3% for Category B, the calorimetric method is not recommended.

Some inaccuracies are common to all measuring methods, for example, the relative dimensions in measurement of speed, voltage, intensity, etc.

Note. — Measurements made by water calorimetry generally give more accurate results than those made with air. Also, if gas bubbles are present in the water (these can be detected through an observation window), it is preferable to eliminate them in order to use the water calorimetric method rather than to use the calorimetric method with air.

TABLE I
Measurement error in calorimetry by water

Clause	Quantity	Effect of error e as a percentage of P_1	
		Category A	Category B
4	Thermal equilibrium ¹⁾	≤ 1	
7	Specific heat capacity $\times$ water density	≤ 1	
8	Volume rate of flow	≤ 1	
9	Temperature rise	≤ 1	
5	Estimation of P_2 losses ²⁾	$\left\{ \begin{array}{l} \leq 0.5 \\ \leq 1.5 \end{array} \right.$	≤ 3
	Losses P_1 : 95% confidence Limits of error $= \sqrt{\sum e^2}$	≤ 2.5	≤ 5

¹⁾ If thermal equilibrium has not been achieved, the error can be appreciable.

²⁾ The lower figure is valid if all precautions described in Clause 5 are taken. The higher figure for Category A is valid provided that P_2 is less than 5% of P_1 .

SECTION THREE — AIR AS THE COOLING MEDIUM

MEASUREMENTS MADE IN THE PRIMARY CIRCUIT

11. Application and basic relationship

Measurement in the primary circuit requires experience in applied aerodynamics. The method of measurement to be used will vary according to the size of the plant and the type of ventilation adopted.

Air calorimetry has the advantage of being applicable to all ventilating systems, whether open or closed circuit. No special measuring instrument has to be incorporated into the machine during assembly. For this reason, measurements made by air calorimetry can also be taken on machines already installed on site and which have not been specially designed for this type of measurement. It is, however, pointed out that certain difficulties in measurement might arise because of uneven air velocities through the measuring section or because of uneven temperatures.

La méthode calorimétrique par l'air doit être utilisée:

- si la machine est entièrement refroidie en circuit ouvert et que, par conséquent, un circuit d'eau secondaire n'est pas utile,
- si l'eau du circuit secondaire contient des bulles ou des gaz rendant une mesure précise du débit d'eau impossible et qu'aucune méthode de mesure du débit d'eau ne soit applicable,
- si aucun dispositif n'a été prévu dans le circuit d'eau secondaire pour la mesure de son débit et de sa température et si un tel dispositif ne peut pas être installé par la suite.

Comme dans le cas de la calorimétrie par l'eau, on suppose, en employant la calorimétrie par l'air, que le système a atteint l'équilibre thermique.

Les passages d'air du circuit primaire entre l'air chaud et l'air froid sont sans effet sur la mesure calorimétrique, pourvu que cet échange d'air ait entièrement lieu à l'intérieur de la surface de référence.

Le but de la calorimétrie par l'air est la mesure des pertes P_1 (Section un).

Pour cela, trois problèmes sont à résoudre:

- détermination du débit massique ρQ ,
- détermination de l'échauffement de l'air Δt ,
- détermination de la chaleur massique de l'air c_p à pression constante.

12. Détermination du débit massique

Pour déterminer le débit massique, le débit volumétrique Q est mesuré et la densité de l'air ρ est lue sur le graphique de la figure 7, page 34, à l'endroit précis où la mesure du débit a été effectuée.

12.1 Mesure du débit

Le débit Q peut être déterminé en introduisant dans le circuit d'air une résistance aérodynamique étalonnée, par exemple un diaphragme de mesure étalonné (paragraphe 12.1.1), en mesurant la vitesse de l'air dans une section traversée par le débit d'air total, ou en utilisant une méthode de comparaison.

12.1.1 Principe de la mesure par une résistance aérodynamique étalonnée

Pour appliquer ce principe, un diaphragme est placé dans le circuit primaire et on mesure la perte de charge. Par étalonnage, donnant la variation du débit volumétrique en fonction de la différence de pression, la lecture de la perte de charge permet de déterminer la loi du débit. L'étalonnage n'est valable que pour une densité de l'air déterminée. En conséquence, la valeur du débit déterminée par l'étalonnage devra être corrigée et calculée pour la densité de l'air au moment de la mesure.

Un écran constitué d'une feuille perforée est utilisé comme diaphragme de mesure (voir figure 6, page 33). Ces feuilles, d'égales dimensions et étalonnées, doivent être placées à des endroits convenables, perpendiculairement au courant d'air, et sont utilisées en nombre suffisant de façon à obtenir pour le débit d'air normal une perte de charge de valeur facilement mesurable ($100 \text{ N/m}^2 = 10,2 \text{ kg/m}^2 = 10,2 \text{ mm d'eau}$).

Afin de ne pas réduire la ventilation de la machine de façon excessive, la perte de charge ne devrait pas être supérieure aux valeurs indiquées ci-dessus.

Cette méthode convient particulièrement bien aux machines ventilées en circuit ouvert. Pour calculer le débit d'air Q pour d'autres valeurs de la densité de l'air, on applique la formule suivante:

$$Q_2 = Q_1 \sqrt{\rho_1 / \rho_2}$$

L'utilisation du principe de l'introduction d'une résistance aérodynamique dans le circuit d'air nécessite une mesure de perte de charge. Pour cela, on utilise un manomètre à tube incliné, ou en tout cas un manomètre gradué en N/m^2 à échelle suffisamment dilatée ($\pm 1 \text{ N/m}^2$).

Dans le cas d'un circuit fermé, les réfrigérants peuvent être utilisés dans ce but, mais il est difficile de les étalonner.

The calorimetric method using air should be used:

- if the machine is completely open, circuit cooled and, as a consequence, a secondary water circuit is not available,
- if the secondary circuit water contains bubbles or gases making accurate measurement of the water flow impossible, and no method of measuring water flow is applicable,
- if no device has been fitted in the secondary water circuit for measuring the water quantity and temperature, and if the subsequent installation of such an instrument would be impossible.

As with water calorimetry, it is necessary for thermal equilibrium to be attained.

Air currents in the primary circuit between the hot and the cold air do not affect the calorimetric measurement provided the interchange of air takes place entirely inside the reference surface.

The purpose of air calorimetry is to measure the loss P_1 (Section One).

To achieve this, it is necessary to determine:

- the mass rate of flow ρQ ,
- temperature rise of the air Δt ,
- the specific thermal capacity c_p of the air at constant pressure.

12. Determination of the mass rate of flow

To determine the mass rate of flow, the volumetric air flow Q should be measured and the air density ρ should be read from the chart in Figure 7, page 34, at the point where the air flow measurement is made.

12.1 Measurement of the air flow

The air flow Q can be determined by introducing into the air circuit a calibrated aerodynamic resistance, for example, a calibrated throttle screen (Sub-clause 12.1.1), measuring the air velocity in a section through which the total air flow passes, or by using a comparison method.

12.1.1 Principle of measurement by calibrated aerodynamic resistance

To apply this principle, a throttle screen is placed in the primary circuit and the drop in pressure determined. By means of calibration, relating the volumetric air flow to the pressure difference, the reading of the pressure drop permits the determination of the rate of flow. The calibration is only valid for a given air density. Therefore, it is necessary for the rate of flow obtained by extrapolation from the calibration curve to be corrected and calculated for the air density prevailing at the time of measurement.

A screen consisting of a perforated sheet is used as a measuring throttle (see Figure 6, page 33). The sheets, which should be of equal dimensions and calibrated, shall be suitably sited perpendicular to the air flow and used in sufficient numbers so that the pressure drop at rated air flow is of a measurable magnitude ($100 \text{ N/m}^2 = 10.2 \text{ kg/m}^2 = 10.2 \text{ mm H}_2\text{O}$).

In order to avoid excessive reduction in the ventilation of the machine, the pressure drop should be not greater than the values given above.

This method is particularly suitable for machines with open-circuit ventilation. To enable the air flow Q to be calculated for other values of air density, the following formula should be used:

$$Q_2 = Q_1 \sqrt{\rho_1 / \rho_2}$$

The principle of introducing an aerodynamic resistance into the air circuit requires measurement of the pressure drop. For this purpose, a manometer with an inclined tube should be used or a manometer graduated in N/m^2 with a sufficiently extended scale ($\pm 1 \text{ N/m}^2$).

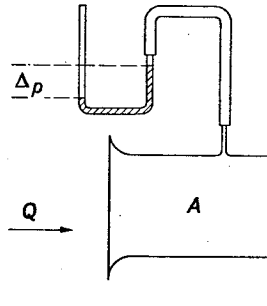
In a closed circuit, heat exchangers are suitable for this purpose, but they are difficult to calibrate.

12.1.2 Mesure à l'aide d'une tuyère d'aspiration

Dans le cas d'une machine refroidie à l'air, on peut aussi mesurer le débit d'air côté arrivée d'air à l'aide d'une tuyère d'aspiration.

On applique pour cette mesure la relation suivante:

$$Q = \alpha \sqrt{2/\rho} \cdot \sqrt{\Delta p} \cdot A \text{ m}^3/\text{s}$$



433/74

où:

A = section droite de la tuyère d'aspiration (m^2)

ρ = masse volumique locale de l'air (kg/m^3)

Δp = différence entre la pression statique dans la tuyère d'aspiration et la pression ambiante (N/m^2).

Le coefficient α a pour valeur 0,98 avec une tuyère d'aspiration de modèle standard et ce coefficient ne dépend pas du débit d'air.

La section droite totale des appareils, suivant le nombre à utiliser, dépend de la perte de charge à mesurer, dont la valeur optimale est de l'ordre de $100 \text{ N}/\text{m}^2$.

12.1.3 Méthode par comparaison

Cette méthode consiste à introduire dans le circuit de refroidissement de la machine un dispositif permettant d'injecter une puissance P (kW) connue, à laquelle correspond une élévation de température mesurable Δt (K) du fluide réfrigérant. Connaissant d'autre part la chaleur massique c_p (kJ/kg K) à l'endroit du dispositif de mesure, on détermine alors le débit massique du fluide réfrigérant:

$$\rho \cdot Q = \frac{P}{c_p \cdot \Delta t} \text{ kg/s}$$

12.2 Mesure de la densité de l'air

La densité de l'air ρ est fonction de la pression barométrique réelle b , de la température t et de l'humidité relative de l'air à l'endroit de la mesure du débit.

La pression atmosphérique à l'endroit de la mesure du débit diffère très peu de la pression atmosphérique, au voisinage de l'installation, que l'on peut mesurer avec un baromètre ou obtenir d'une station météorologique locale. La pression barométrique doit être celle de la pression réelle et non la valeur corrigée d'après l'altitude au-dessus du niveau de la mer. La température à l'endroit de la mesure peut être déterminée de façon suffisamment précise avec un thermomètre normal.

Lorsqu'on utilise les réfrigérants pour la mesure du débit, il faut, pour déterminer la densité de l'air, prendre la valeur moyenne arithmétique entre l'entrée et la sortie de l'air du réfrigérant.

Un hygromètre spécial doit être utilisé pour mesurer l'humidité.

Le diagramme de la figure 7, page 34, indique les densités de l'air sec et humide en fonction de la température.

L'influence de la pression barométrique sera calculée par la formule suivante:

$$\rho_b = \rho_{b_0} \cdot \frac{b}{b_0}$$

où:

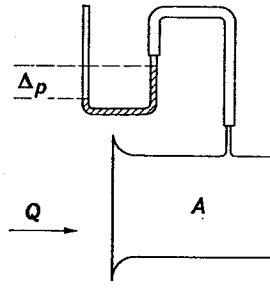
$$b_0 = 1,013 \times 10^5 \text{ N}/\text{m}^2.$$

12.1.2 Measurement with an intake nozzle

For air-cooled machines, the air flow can also be measured at the air inlet by means of an intake nozzle.

For this measurement, the following formula applies:

$$Q = \alpha \sqrt{2/\varrho} \cdot \sqrt{\Delta p} \cdot A \text{ m}^3/\text{s}$$



433/74

where:

A = cross section of intake nozzle (m^2)

ϱ = local air density (kg/m^3)

Δp = difference between the static pressure in the intake nozzle and the ambient pressure (N/m^2).

The coefficient $\alpha = 0.98$ with a standard intake nozzle and is independent of the airflow.

The cross-sectional area of the nozzle and the number of standard nozzles required depends upon the pressure drop to be measured, the optimum value of which is in the region of $100 \text{ N}/\text{m}^2$.

12.1.3 Comparison method

In this method, a device is placed in the cooling circuit of the machine to permit the introduction of known losses P (kW) which corresponds to a measurable temperature rise Δt (K) of the cooling medium. When the specific heat capacity c_p (kJ/kg K) at the position of measurement is known, the air mass flow can be obtained from the formula:

$$\varrho \cdot Q = \frac{P}{c_p \cdot \Delta t} \text{ kg/s}$$

12.2 Measurement of air density

The air density ϱ is a function of the actual barometric pressure b , the temperature t and the relative humidity of the air in the location at which the mass flow measurement is made.

The atmospheric pressure at the location of the mass flow measurement does not differ significantly from the atmospheric pressure in the vicinity of the installation which can either be measured by a barometer, or obtained from the local meteorological station. The barometric pressure should be the actual value and not the value corrected to sea level conditions. The temperature at the location of the mass flow measurement can be determined sufficiently accurately by means of a bulb thermometer.

To determine the air density when coolers are used for measurement of the flow, it is necessary to take the arithmetical mean value between the inlet and outlet temperature of the cooler.

A special hygrometer should be used for the humidity measurement.

Figure 7, page 34, shows the dry air and humid air densities in relation to temperature.

The influence of barometric pressure can be calculated from the following formula:

$$\varrho_b = \varrho_{b_0} \cdot \frac{b}{b_0}$$

where:

$$b_0 = 1.013 \times 10^5 \text{ N}/\text{m}^2.$$

13. Mesure de l'échauffement de l'air

La mesure de la température peut être faite au moyen de détecteurs électriques (sondes à résistance, thermocouples, thermistances). Si l'échauffement est de l'ordre de 10 deg C, des thermomètres au mercure gradués au $\frac{1}{10}$ de degré donnent une précision suffisante.

13.1 Mesure avec ventilation en circuit ouvert

Dans le cas des machines refroidies avec l'air ambiant, on doit mesurer la température de l'air à l'entrée et à la sortie. La distribution de température peut varier considérablement. Afin d'obtenir des valeurs plus exactes, l'ouverture de sortie doit être subdivisée, par exemple avec un filet, en sections de 0,1 m $\times$ 0,1 m environ; à l'intérieur de chacune d'elles, la température de l'air de sortie sera mesurée selon le principe expliqué à l'article 13.

Il faut prendre soin que la vitesse de l'air soit uniforme dans la section de mesure. Si ce n'est pas le cas, un écran sera placé de façon à égaliser les vitesses de l'air à la sortie; les mesures seront alors effectuées et on déterminera la valeur moyenne. Cet écran peut être considéré comme écran de valeur moyenne thermique et doit être fixé par des supports isolés thermiquement.

13.2 Mesure avec ventilation en circuit fermé

Dans le cas d'une machine avec ventilation en circuit fermé, la différence de température de l'air dans les réfrigérants, c'est-à-dire la différence entre la température de l'air chaud et la température de l'air froid à la sortie de l'échangeur détermine les pertes absorbées par le réfrigérant.

Si le côté air chaud des réfrigérants est accessible, des thermomètres à mercure indiqueront cette température. La température de l'air à la sortie doit être mesurée en différents points car la température de l'air est différente selon les endroits par suite de l'échauffement de l'eau.

Si le côté air chaud des réfrigérants n'est pas accessible, on utilisera des sondes électriques pour mesurer la température de l'air chaud en les plaçant entre les lamelles de l'échangeur sans qu'elles soient en contact avec les lamelles.

14. Détermination de la capacité calorifique de l'air

La capacité calorifique de l'air c_p à pression constante est pratiquement constante pour la gamme de pression et de température concernée (7 °C à 70 °C) et a la valeur suivante pour de l'air sec:

$$c_p = 1,01 \text{ kJ/(kg K)}$$

Les valeurs sont plus élevées pour de l'air humide (voir figure 8, page 35).

15. Précision de la mesure

La précision de la détermination des pertes par la méthode calorimétrique dépend de la méthode de mesure utilisée.

Le tableau ci-après indique l'erreur de mesure pour chaque catégorie de méthodes de mesure selon la méthode utilisée et la valeur de la différence de température.

13. Measurement of the temperature rise of the air

Measurement of the temperature can be made by means of electrical measuring detectors (resistance thermometers, thermocouples or thermistors). If the difference in temperature is in the region of 10 deg C, sufficient accuracy is obtained with mercury thermometers graduated in tenths of a degree.

13.1 *Measurement with open-circuit ventilation*

For machines cooled with ambient air, the inlet and outlet air temperatures shall be measured. The temperature distribution may vary considerably. For greater accuracy, the outlet aperture should be subdivided by, for example, a wire mesh, into sections of approximately 0.1 m × 0.1 m. The air temperature should be measured in each section in the manner indicated in Clause 13.

Care should be taken to ensure that the air velocity in the measurement section is constant. When the air velocity is not constant, a screen should be fitted so as to equalize the air velocities; measurements should then be taken and the mean value determined. The screen can be considered as a thermal-mean-value screen and it should be fixed by means of thermally insulated supports.

13.2 *Measurement with closed-circuit ventilation*

For machines with closed-circuit ventilation, the losses absorbed by the cooler are determined by the difference between the temperature of the warm air and the temperature of the cold air at the outlet of the heat exchanger.

When the warm air side of the cooler is accessible, the temperature may be measured by mercury thermometers. The outlet temperature should be measured at several points as the air temperature may vary at different sections because of the temperature rise of the water.

When the warm air side of the cooler is not accessible, the warm air temperature should be measured by means of electrical temperature detectors placed between the cooling fins of the heat exchanger, but not in contact with it.

14. Determination of the specific heat capacity of the air

The specific heat capacity of the air c_p at constant pressure is practically constant for the pressure and temperature ranges concerned (7 °C to 70 °C), and for dry air has the following value:

$$c_p = 1.01 \text{ kJ/(kg K)}$$

The values are higher for humid air (see Figure 8, page 35).

15. Measuring accuracy

Accuracy in the determination of losses by the calorimetric method depends upon the method of measurement employed.

The measurement error for each category of measuring method, depending on the method used and the value of the temperature difference, is given in the following table.

TABEAU II

Erreur de mesure dans la calorimétrie par l'air

Quantité et méthode de mesure	Pourcentage d'erreur
Chaleur massique c_p	$\pm 0,5$
Densité de l'air ρ	$\pm 0,5$
Débit d'air	
— diaphragme de mesure	$\pm 2,5$
— anémomètre ou appareil électrique	$\pm 3,0$
— tube de Pitot	$\pm 3,0$
— tuyère d'aspiration	$\pm 1,5$
Echauffement Δt	
dans la gamme de:	
par thermomètre à mercure	$\pm 2,0$
ou électriquement	$\pm 1,0$
	$\pm 0,8$

La méthode choisie pour les essais devra permettre une précision de mesure d'au moins 2,5% pour la catégorie A et d'au moins 5% pour la catégorie B (voir article 10), sauf accord contraire.

SECTION QUATRE — CONSIDÉRATIONS PRATIQUES

16. Préparatifs en vue des mesures calorimétriques avec liquides de refroidissement

Les mesures calorimétriques doivent être effectuées séparément sur chacun des circuits de refroidissement. Dans le cas d'alternateurs refroidis au moyen d'un seul fluide, il faut un ou plusieurs calorimètres pour l'huile des paliers et un calorimètre pour l'eau de refroidissement des échangeurs à air ou à gaz (voir figure 2, page 31). Lorsque le refroidissement de l'alternateur est assuré au moyen de deux fluides de refroidissement primaires, par exemple hydrogène et eau pure, il faut un ou plusieurs calorimètres selon le mode de liaison des réfrigérants et l'objet de la mesure (voir figure 3, page 31).

Selon les exigences concernant la précision et l'accessibilité, il est conseillé de prévoir les parcours des circuits de mesure des débits d'eau et d'huile, ainsi que les points de mesure des températures, lors de l'établissement du plan des tuyauteries. Les installations et les modifications ultérieures sont non seulement onéreuses mais peuvent également amener une contamination de l'huile des paliers et des circuits d'eau de grande pureté.

Etant donné que les débitmètres tels que ceux à turbine ou à étranglement dans le circuit d'eau non traitée perdent rapidement leur précision à cause de l'encrassement ou de la corrosion, on ne doit les installer que pour le temps nécessaire à la mesure. Pour pouvoir les installer et les retirer sans interrompre le fonctionnement de l'alternateur, on utilise deux tuyaux parallèles (voir figure 9, page 36) qui peuvent être fermés aux deux extrémités. Ce montage doit laisser des longueurs libres (de tubes) l entre les vannes et le débitmètre avec les valeurs minimales suivantes:

- à l'entrée S 1: $l \geq 10$ fois la largeur nominale,
- à la sortie S 2: $l \geq 5$ fois la largeur nominale.

On doit prévoir une petite vanne S 5 pour vérifier que l'eau de refroidissement ne circule pas en dehors de la branche du débitmètre (Q), c'est-à-dire que les vannes S 3 et S 4 sont bien étanches en position de fermeture.

TABLE II

Measurement error in calorimetry by air

Measured quantity and method of measurement	Percentage of error
Specific heat capacity c_p	± 0.5
Air density ρ	± 0.5
Flow of air	
— throttle screen	± 2.5
— anemometer or electrical apparatus	± 3.0
— Pitot tube	± 3.0
— intake nozzle	± 1.5
Temperature rise Δt	
by mercury thermometer or electrically	within the range of: $5^\circ\text{C} < \Delta t < 10^\circ\text{C}$ $10^\circ\text{C} < \Delta t < 20^\circ\text{C}$ $20^\circ\text{C} < \Delta t$
	± 2.0
	± 1.0
	± 0.8

The method to be selected for test purposes shall enable an accuracy of measurement of within 2.5% to be attained for Category A and within 5% for Category B (see Clause 10) unless otherwise agreed.

SECTION FOUR — PRACTICAL CONSIDERATIONS

16. Preparations for calorimetric measurements with liquid coolants

Calorimetric measurements should be performed separately on every cooling circuit. With a single-medium coolant, one or more calorimeters are needed for the bearing oil, and one calorimeter for the cooling water of air- or gas-coolers (see Figure 2, page 31). The use of two primary coolants, for example, hydrogen and pure water, requires one or several calorimeters depending upon the connection of the coolers and the scope of measurement (see Figure 3, page 31).

It is advisable to establish the measuring paths for oil and water flow measurements, and the temperature measuring points, when planning the pipe layout, as additions or changes to the installation at a later date are not only costly but can also result in contamination of the bearing oil and high-purity water circuits.

Since flow-metering devices, for example, turbine meters or throttling devices in the raw-water circuit rapidly lose accuracy because of dirt deposits or corrosion, they should be installed for the period of measurement only. To permit installation and removal without interrupting operation, two parallel pipes as shown in Figure 9, page 36, are used which may be shut off at both ends. These should allow for the free lengths l between slide valve and flowmeter having minimum values as follows:

- in the inlet S 1: $l \geq 10$ times the nominal width,
- in the outlet S 2: $l \geq 5$ times the nominal width.

The small valve S 5 is required to verify that no cooling water bypasses the flowmeter (Q), i.e. that the slide valves S 3 and S 4 are tightly closed.

Le débitmètre, y compris les raccordements adjacents perturbant l'écoulement, ainsi que les émetteurs d'impulsions, amplificateurs et appareils de mesure associés, s'il en existe, doivent être étalonnés avant l'essai. Les portions de tuyauteries comprises entre les points de mesure de la température doivent comporter une isolation thermique. Une isolation thermique insuffisante peut entraîner des erreurs dans les deux sens.

Si les réfrigérants sont extérieurs au bâti de l'alternateur, on peut effectuer une mesure calorimétrique du fluide réfrigérant primaire si les conduits d'air permettent l'installation d'appareils convenant à une mesure correcte. Sinon, les conduits d'air doivent être pourvus d'une isolation thermique convenable entre l'alternateur et les réfrigérants afin de permettre des mesures satisfaisantes dans le circuit secondaire de réfrigération. Les conduits d'air et le bâti de l'alternateur doivent être étanches afin d'éviter les fuites d'air.

17. Raccordements et équipement pour des mesures calorimétriques avec liquides de refroidissement

L'exemple de la figure 2, page 31, représente le cas normal d'un alternateur refroidi par quatre réfrigérants gaz-eau branchés en parallèle du côté du circuit d'eau. Les pertes totales de puissance dissipées par l'eau de refroidissement sont obtenues par la mesure du débit d'eau Q et de l'échauffement total Δt .

Le résultat est indépendant de la répartition de l'eau entre les réfrigérants en parallèle, de la répartition du gaz et de la distribution des pertes entre les circuits individuels de gaz 1 à 4. L'isolation thermique des conduits d'eau entre les points de mesure de la température est nécessaire (voir également le paragraphe 9.1).

La figure 3, page 31, représente la disposition des réfrigérants en série, utilisée par exemple dans le cas de refroidissement par deux fluides. Dans ce cas également, on peut déterminer le total des pertes en mesurant le débit total de l'eau de refroidissement et l'échauffement total. Il est nécessaire d'assurer l'isolation thermique des tuyaux d'eau.

Si la réalisation de l'isolation thermique devient trop onéreuse, on peut s'en passer dans le cas des réfrigérants en série, en mesurant le débit total Q d'eau de refroidissement, mais en déterminant séparément les échauffements partiels Δt_1 et Δt_2 , ou en mesurant la puissance dissipée par l'eau de grande pureté dans le circuit de refroidissement. Des considérations similaires sont valables pour le cas des réfrigérants en parallèle.

Afin d'augmenter la précision de la mesure de l'échauffement du fluide réfrigérant, on doit effectuer la mesure avec l'échauffement le plus élevé possible. A cet effet, on peut réduire le débit du fluide réfrigérant le plus possible, sans dépasser les limites de température permises. Cela est applicable avec une eau de refroidissement suffisamment froide, mais l'est moins lorsqu'on emploie l'eau de condensation en tant que réfrigérant.

Lorsque l'échauffement du fluide réfrigérant est trop faible pendant les mesures calorimétriques et qu'il n'est pas permis de modifier l'écoulement (par exemple l'huile des paliers), il est avantageux, lors de la mesure, de déduire les pertes à l'intérieur de la dérivation qui portent sur une partie du liquide en circulation, conformément à la figure 10, page 36, et de réintroduire dans le réfrigérateur la partie du fluide refroidie à une température plus basse t_a . Cela implique une température suffisamment basse du fluide réfrigérant secondaire.

Cette méthode calorimétrique par dérivation permet d'obtenir des différences de températures Δt plus importantes et, de ce fait, d'augmenter la précision de la mesure. Un dispositif à étranglement permet une distribution convenable du fluide dans les conduites parallèles.

Lorsque la disposition matériellement correcte, représentée sur la figure 2, n'est pas réalisable à cause de la disposition des conduites et de l'isolation thermique, on peut employer la méthode calorimétrique combinée dans laquelle le débit total mesuré est multiplié par la valeur moyenne des échauffements dans chaque réfrigérant (voir figure 11, page 36). Dans ce cas, avant la mesure, on règle les débits partiels à l'aide des vannes en aval de telle sorte que les différences de température Δt_1 à Δt_4 soient presque égales. Plus on améliore la précision avec laquelle on réalise ce dispositif, plus on diminue l'erreur d'évaluation des pertes au moyen de l'échauffement moyen. L'écart maximal autorisé entre les valeurs Δt doit faire l'objet d'un accord. On peut se dispenser de calorifier les tuyaux.

It is necessary for the flowmetering devices, including the adjacent flow disturbing fittings and the associated pulse transmitters, amplifiers and meters, if any, to be calibrated before the test. Pipe lengths between the temperature measuring points for determining the coolant temperature rise should be provided with heat insulation. Inadequate thermal insulation may result in errors in both directions.

If the coolers are external to the machine casing, a calorimetric measurement of the primary coolant may be made if the air ducts permit the accommodation of instruments suitable for correct measurement. Otherwise, a satisfactory thermal insulation of the air ducts between machine and coolers should be provided to obtain a useful measurement in the secondary cooling circuit. Ducts and casing should be carefully sealed against air leakage.

17. Connections and equipment for calorimetric measurements with liquid coolants

Figure 2, page 31, shows four gas-to-water coolers connected in parallel on the water side. The total power losses dissipated by the cooling water are obtained from the measurement of the volume rate of flow of water Q and the temperature rise Δt .

The result is independent of the distribution of water in the paralleled coolers, of the gas distribution, and of the distribution of losses in the partial gas flows 1 to 4. Thermal insulation of water pipes between the temperature measuring points is necessary (see also Sub-clause 9.1).

Figure 3, page 31, shows the series connection of coolers for use with two-media cooling. The total of the dissipated losses may be determined from the measurement of the volume rate of flow of the cooling water and the total temperature rise. Thermal insulation of water pipes is necessary.

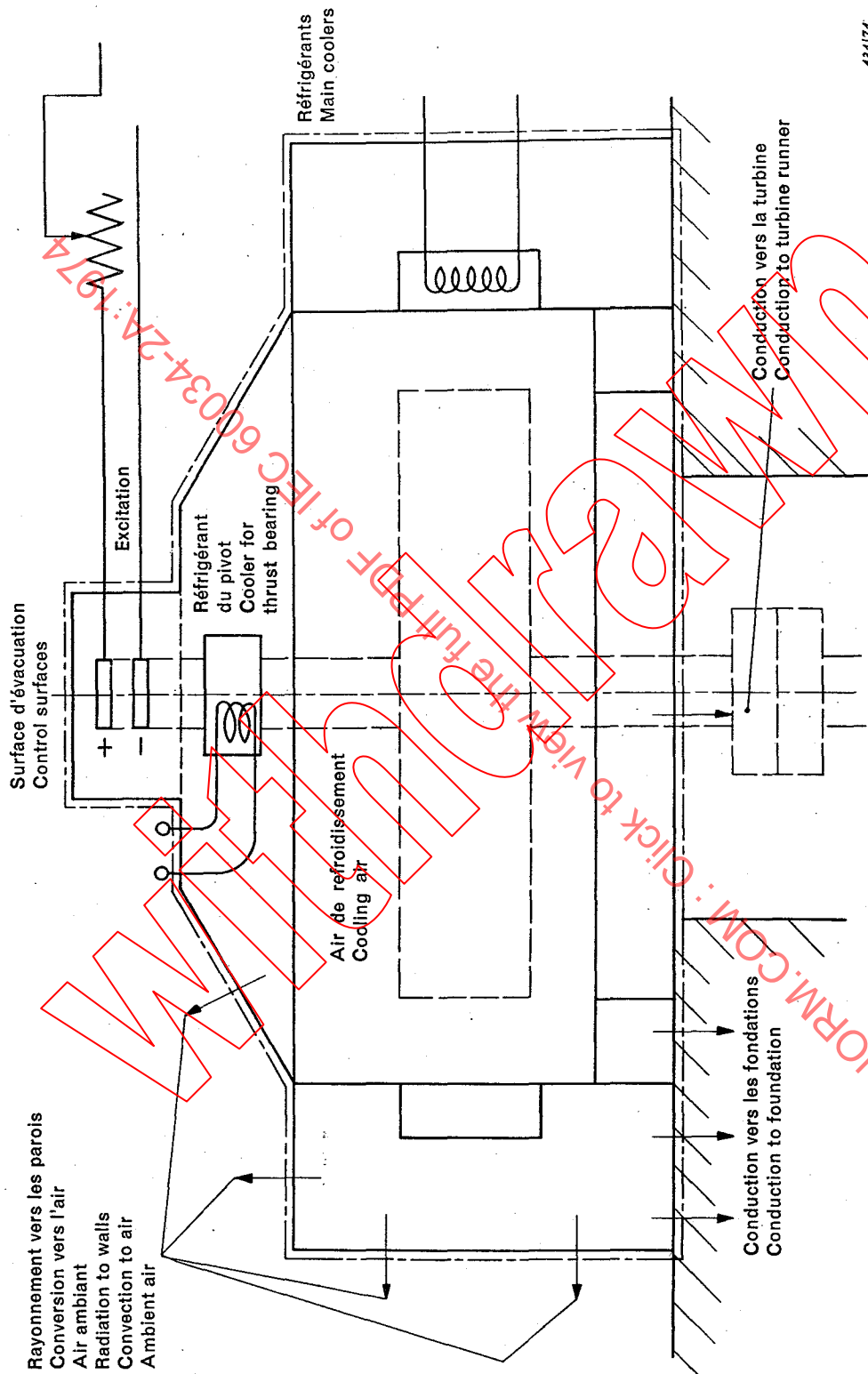
If the provision of thermal insulation is uneconomic, it may be dispensed with in the series connection of coolers by measuring the actual volume rate of flow of cooling water Q , but determining the partial temperature rises Δt_1 and Δt_2 individually, or by measuring directly the loss of power dissipated by the high-purity water in the cooling circuit. Similar considerations apply for coolers connected in parallel.

To increase the accuracy of measurement of the coolant temperature rise, the test should be made with a temperature rise as high as possible. For this purpose, the coolant flow may be reduced as far as is possible without exceeding the permissible temperature limits. This is more practicable with cold cooling water than with the use of condensate as a coolant.

When the temperature rise of the cooling medium is too low and it is not permissible to change the volume rate of flow (for example bearing oil), it is advantageous, when measuring, to extract the losses within the bypass over a fraction of the circulating liquid flow in accordance with Figure 10, page 36, and to re-admit to the coolant the partial flow cooled down to the lower temperature t_a . This presupposes a sufficiently low temperature of the secondary coolant.

This bypass calorimetry makes possible a larger temperature difference Δt , and hence an increased measuring accuracy. A throttling device permits a convenient flow distribution on the parallel lines.

Should the physically correct connection, as indicated in Figure 2, be impracticable because of the local pipe layout and thermal insulation, combined calorimetry may be employed in which the measured total flow is multiplied by the mean value of the measured individual temperature rises of each cooler (see Figure 11, page 36). In this case, it is necessary for the partial flows to be adjusted prior to the measurement, by means of the downstream valves so that the temperature rises Δt_1 to Δt_4 are almost equal. The greater the accuracy with which this is accomplished, the smaller the error in evaluating the losses by means of the average temperature rise. The maximum permitted difference between Δt values shall be the subject of agreement. Pipe lagging can be dispensed with.



434174

FIG. 1. — Surface de référence.
Reference surface.