

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC**

TR 61807

Première édition
First edition
1999-10

**Propriétés magnétiques des matériaux
magnétiquement durs à des
températures élevées – Méthodes de mesure**

**Magnetic properties of magnetically
hard materials at elevated temperatures –
Methods of measurement**



Numéro de référence
Reference number
IEC/TR 61807:1999

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

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 dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement
(Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

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 in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates
(On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC**

TR 61807

Première édition
First edition
1999-10

**Propriétés magnétiques des matériaux
magnétiquement durs à des
températures élevées – Méthodes de mesure**

**Magnetic properties of magnetically
hard materials at elevated temperatures –
Methods of measurement**

© IEC 1999 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 procédé, 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.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

M

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
Articles	
1 Domaine d'application	8
2 Documents de référence	8
3 Définitions.....	10
4 Symboles.....	10
5 Revue des matériaux aimants permanents existants	10
6 Matériel de mesure	10
7 Exploitation des mesures	14
8 Rapport d'essai.....	16
Annexe A Résultats d'une intercomparaison des mesures effectuées sur un matériau magnétiquement dur (aimant permanent) pour des températures élevées.	
A.1 Introduction	18
A.2 Eprouvettes.....	18
A.3 Méthode de mesure.....	18
A.4 Résultats.....	18
A.5 Conclusions	20
Annexe B Exemples de calculs.....	
B.1 Aimant fritté NdFeB magnétiquement anisotrope	24
B.2 Aimant fritté en ferrite de Sr magnétiquement anisotrope	24

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
Clause	
1 Scope	9
2 Reference documents	9
3 Definitions	11
4 Symbols	11
5 Review of existing permanent magnet materials	11
6 Measuring equipment	11
7 Evaluation of measured data	15
8 Test report	17
 Annex A Results of an inter-comparison of measurements on magnetically hard (permanent magnet) material at elevated temperatures	19
A.1 Introduction	19
A.2 Test specimens	19
A.3 Method of measurement	19
A.4 Results	19
A.5 Conclusions	21
 Annex B Example calculations	25
B.1 Magnetically anisotropic sintered NdFeB magnet	25
B.2 Magnetically anisotropic sintered Sr-ferrite magnet	25

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PROPRIÉTÉS MAGNÉTIQUES DES MATÉRIAUX MAGNÉTIQUEMENT DURS À DES TEMPÉRATURES ÉLEVÉES – MÉTHODES DE MESURE

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Électrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent rapport technique peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La tâche principale des comités d'études de la CEI est l'élaboration des Normes internationales. Toutefois, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique lorsqu'il a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur l'état de la technique.

Un rapport technique ne doit pas nécessairement être révisé avant que les données qu'il contient ne soient plus jugées valables ou utiles par le groupe de maintenance.

La CEI 61807, qui est un rapport technique, a été établie par le comité d'études 68: Matériaux magnétiques tels qu'alliages et aciers.

Le texte de ce rapport technique est issu des documents suivants:

Projet d'enquête	Rapport de vote
68/190/CDV	68/201/RVC

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 3.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**MAGNETIC PROPERTIES OF MAGNETICALLY HARD MATERIALS
AT ELEVATED TEMPERATURES – METHODS OF MEASUREMENT**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this technical report may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. However, a technical committee may propose the publication of a technical report when it has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

Technical reports do not necessarily have to be reviewed until the data they provide are considered to be no longer valid or useful by the maintenance team.

IEC 61807, which is a technical report, has been prepared by IEC technical committee 68: Magnetic alloys and steels.

The text of this technical report is based on the following documents:

Enquiry draft	Report on voting
68/190/CDV	68/201/RVC

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 3.

Ce document, purement informatif, ne doit pas être considéré comme une Norme internationale.

Le comité a décidé que cette publication reste valable jusqu'en 2007. A cette date, selon décision préalable du comité, la publication sera

- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

This document which is purely informative is not to be regarded as an International Standard.

The committee has decided that this publication remains valid until 2007. At this date, in accordance with the committee's decision, the publication will be

- reconfirmed;
- withdrawn;
- replaced by a revised edition, or
- amended.

PROPRIÉTÉS MAGNÉTIQUES DES MATÉRIAUX MAGNÉTIQUEMENT DURS À DES TEMPÉRATURES ÉLEVÉES – MÉTHODES DE MESURE

1 Domaine d'application

Le présent rapport technique donne les méthodes pour réaliser les mesures sur les matériaux magnétiquement durs, à des températures élevées. Les matériaux magnétiquement durs (aimants permanents) sont classifiés dans la CEI 60404-1 et leurs propriétés sont spécifiées dans la CEI 60404-8-1.

Les méthodes de mesure des propriétés magnétiques des matériaux magnétiquement durs à la température ambiante ont été spécifiées respectivement dans la CEI 60404-5 pour les circuits magnétiques fermés, et dans la CEI 60404-7 pour les circuits magnétiques ouverts. Les applications des matériaux magnétiquement durs se développent maintenant pour des températures élevées. Par conséquent, il est nécessaire de spécifier et de garantir les propriétés magnétiques de ces matériaux sur toute leur gamme de températures de fonctionnement.

Dans la CEI 60404-8-1 les coefficients de température pour la rémanence (ou la saturation) et la coercitivité J ont été spécifiés en complément des propriétés de base comme par exemple le maximum de l'énergie magnétique $((BH)_{\max})$, la rémanence (B_r) , la coercitivité B (H_{CB}), la coercitivité J (H_{CJ}), la perméabilité relative de recul (μ_{rec}) et la masse volumique.

2 Documents de référence

CEI 60050(121):1998, *Vocabulaire électrotechnique international (VEI) – Partie 121: Electromagnétisme*

CEI 60050(151):1978, *Vocabulaire électrotechnique international (VEI) – Chapitre 151: Dispositifs électriques et magnétiques*

CEI 60050(221):1990, *Vocabulaire électrotechnique international (VEI) – Chapitre 221: Matériaux et composants magnétiques*

CEI 60404-1:1979, *Matériaux magnétiques – Première partie: Classification*

CEI 60404-5:1993, *Matériaux magnétiques – Partie 5: Aimants permanents (magnétiques durs) – Méthodes de mesure des propriétés magnétiques*

CEI 60404-7:1982, *Matériaux magnétiques – Septième partie: Méthode de mesure du champ coercitif des matériaux magnétiques en circuit magnétique ouvert*

CEI 60404-8-1:1986, *Matériaux magnétiques – Huitième partie: Spécifications pour matériaux particuliers – Section un: Spécifications normales des matériaux magnétiquement durs*

NOTE Il convient de redéfinir les coefficients de température quadratiques β_{Br} et $\beta_{H_{CJ}}$, exprimés en $10^{-6}/K^2$, de même que les coefficients linéaires α_{Br} et $\alpha_{H_{CJ}}$, exprimés en $10^{-6}/K$, dans toute partie appropriée des normes indiquées ci-dessus.

MAGNETIC PROPERTIES OF MAGNETICALLY HARD MATERIALS AT ELEVATED TEMPERATURES – METHODS OF MEASUREMENT

1 Scope

The present technical report provides methods for measuring magnetically hard materials, at elevated temperatures. Magnetically hard materials (permanent magnet materials) are classified in IEC 60404-1 and their properties are specified in IEC 60404-8-1.

The methods of measurement of the magnetic properties of magnetically hard materials at room temperature have been specified in IEC 60404-5 for closed magnetic circuits and in IEC 60404-7 for open magnetic circuits, respectively. The applications of magnetically hard materials are now expanding to elevated temperatures and it is therefore required to specify and guarantee the magnetic properties of these materials over their working temperature range.

In IEC 60404-8-1 temperature coefficients of remanence (or saturation) and J -coercivity have been specified in addition to basic properties such as maximum magnetic energy product $((BH)_{\max})$, remanence (B_r), B -coercivity (H_{cB}), J -coercivity (H_{cJ}), recoil permeability (μ_{rec}) and density.

2 Reference documents

IEC 60050(121):1998, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 121: Electromagnetism*

IEC 60050(151):1978, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 151: Electrical and magnetic devices*

IEC 60050(221):1990, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 221: Magnetic materials and components*

IEC 60404-1:1979, *Magnetic materials – Part 1: Classification*

IEC 60404-5:1993, *Magnetic materials – Part 5: Permanent magnet (magnetically hard) materials – Methods of measurement of magnetic properties*

IEC 60404-7:1982, *Magnetic materials – Part 7: Method of measurement of the coercivity of magnetic materials in an open magnetic circuit*

IEC 60404-8-1:1986, *Magnetic materials – Part 8: Specifications for individual materials – Section One: Standard specification for magnetically hard materials*

NOTE Quadratic temperature coefficients β_{B_r} and $\beta_{H_{cJ}}$, in $10^{-6}/K^2$, as well as linear coefficients α_{B_r} and $\alpha_{H_{cJ}}$, in $10^{-6}/K$, should be re-defined in any appropriate part of the above-mentioned standards.

3 Définitions

Pour les besoins du présent rapport technique, les définitions données dans la CEI 60050(121), la CEI 60050(151), la CEI 60050(221), ainsi que dans la norme de produit CEI 60404-8-1 s'appliquent.

4 Symboles

B_r (ou J_r)	rémanence
$(BH)_{\max}$	maximum du produit BH
H_{cB}	coercitivité relative à l'induction magnétique
H_{cJ}	coercitivité relative à la polarisation magnétique
$4\pi\mu_0(BH)_{\max}/B_r^2$	maximum relatif du produit BH
H_k	champ magnétique d'uniformité
$\mu_0 H_{cB}/B_r$	coercitivité B relative
$\mu_0 H_{cJ}/B_r$	coercitivité J relative
μ_{rec}	perméabilité relative de recul
α_{Br}	coefficient linéaire de température pour la rémanence
β_{Br}	coefficient quadratique de température pour la rémanence
α_{HcJ}	coefficient linéaire de température pour la coercitivité intrinsèque
β_{HcJ}	coefficient quadratique de température pour la coercitivité intrinsèque

5 Revue des matériaux aimants permanents existants

Les aimants Alnico et Fe-Cr-Co sont utilisés maintenant, alors que la stabilité est la préoccupation principale. Ils possèdent des coefficients de température négatifs à la fois pour la rémanence et pour la coercitivité J , inférieurs à $-10^{-3}/K$. Leur magnétisme permanent est consécutif à l'anisotropie de forme des précipités ferromagnétiques allongés, séparés par une décomposition spinodale. Ils possèdent un très haut point de Curie.

Les aimants en ferrites de baryum et de strontium sont actuellement les matériaux magnétiques permanents dominants. Ils possèdent un coefficient positif de température pour la coercitivité relative à la polarisation à la température ambiante et ils ont une tendance à la désaimantation irréversible pour les basses températures.

Les aimants en terre rare à hautes performances dont le magnétisme permanent pourrait être dû à l'anisotropie de leur cristal et/ou à un accrochage des parois possèdent un coefficient de température négatif pour la coercitivité J plus important que celui des aimants Alnico. Le coefficient de température est en lui-même dépendant de la température. Certaines nuances ont l'inconvénient d'une désaimantation irréversible à une température élevée.

6 Matériel de mesure

Pour les mesures à températures élevées, la méthode utilisée est celle donnée dans la CEI 60404-5. Il est préférable d'immerger le circuit magnétique fermé, l'éprouvette et les bobines de mesure dans un récipient rempli d'huile électriquement isolante. L'huile est chauffée à la température souhaitée et est mise en circulation ou agitée de manière à améliorer l'équilibre thermique.

3 Definitions

For the purpose of this technical report, the definitions in IEC 60050(121), IEC 60050(151), IEC 60050(221) and in the product standard IEC 60404-8-1 apply.

4 Symbols

B_r (or J_r)	remanence
$(BH)_{\max}$	maximum BH product
H_{cB}	coercivity relating to the magnetic flux density
H_{cJ}	coercivity relating to the magnetic polarization
$4\pi\mu_0(BH)_{\max}/B_r^2$	relative maximum BH product
H_k	uniformity magnetic field strength
$\mu_0 H_{cB}/B_r$	relative B -coercivity
$\mu_0 H_{cJ}/B_r$	relative J -coercivity
μ_{rec}	relative recoil permeability
α_{Br}	linear temperature coefficient of remanence
β_{Br}	quadratic temperature coefficient of remanence
α_{HcJ}	linear temperature coefficient of intrinsic coercivity
β_{HcJ}	quadratic temperature coefficient of intrinsic coercivity

5 Review of existing permanent magnet materials

Alnico and Fe-Cr-Co magnets are now used where stability is the main consideration. They have negative temperature coefficients of both remanence and coercivity relating to the polarization of less than $-10^{-3}/\text{K}$. Their permanent magnetism is due to the shape anisotropy of elongated ferromagnetic precipitates separated by a spinodal decomposition. They have a very high Curie temperature.

Barium and Strontium ferrites are currently the dominant permanent magnet materials. They have a positive temperature coefficient of coercivity relating to the polarization at room temperature and a tendency for irreversible demagnetization at low temperatures.

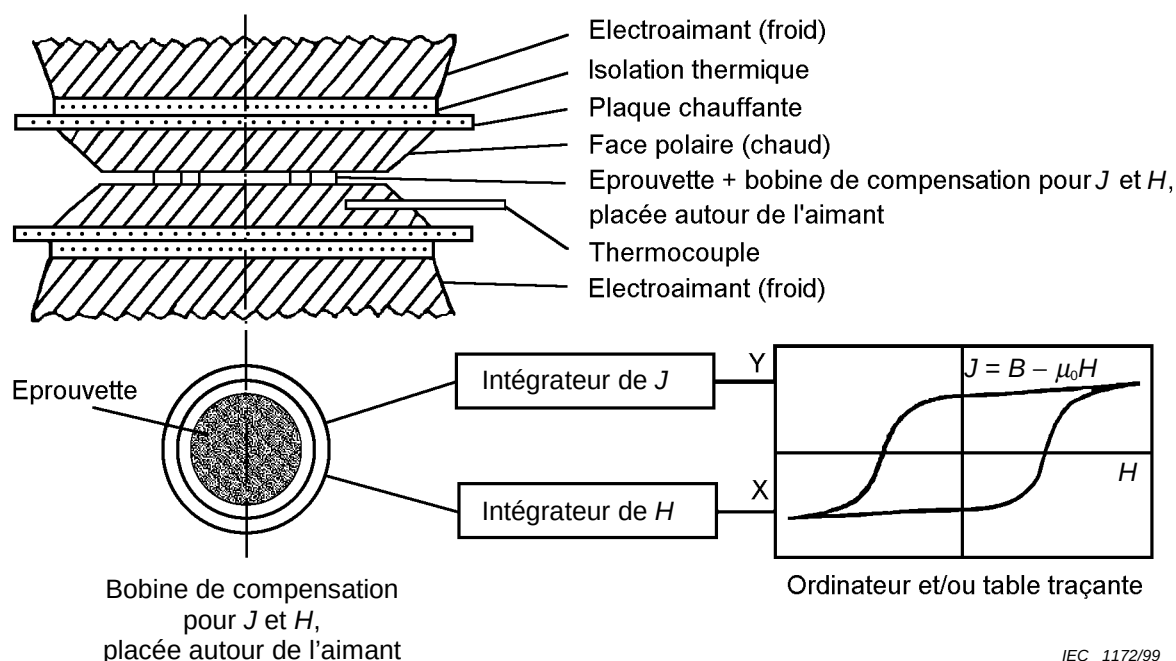
High performance rare earth magnets, whose permanent magnetism might be due to their crystal anisotropy and / or domain wall pinning, have a larger negative temperature coefficient of J -coercivity than that of Alnico magnets. The temperature coefficient is in itself temperature dependent. Some grades have the disadvantage of irreversible demagnetization at a higher temperature.

6 Measuring equipment

The method used for measurement at elevated temperatures is that given in IEC 60404-5. It is preferable to immerse the closed magnetic circuit, test specimen and search coils in a tank filled with electrically insulating oil. The oil is heated to the desired temperature and circulated or stirred to improve the thermal equilibrium.

Cependant, pour réduire les dimensions de l'appareil dont la température est à maîtriser, on peut insérer un système de chauffage entre les pôles magnétiques d'un électroaimant. Un dispositif caractéristique est illustré à la figure 1. Les résultats d'une intercomparaison pour laquelle deux dispositifs de chauffage ont été utilisés sont donnés dans l'annexe A.

Le système illustré est composé des pôles supérieur et inférieur d'un électroaimant, chacun recouvert d'une couche d'isolant thermique contre laquelle sont montées une paire de plaques chauffantes et les deux faces polaires qui peuvent être fabriquées en fer ou dans un alliage de fer cobalt. L'éprouvette avec les bobines captant J (ou B) et le système de mesure de H sont fixés entre les faces polaires de mesure. On perce un trou dans un des pôles de mesure pour insérer un thermocouple afin de mesurer la température du pôle. Il est important que l'éprouvette et les faces polaires puissent se stabiliser en température avant d'effectuer les mesures. Néanmoins, la température mesurée de la face polaire et celle de l'éprouvette peuvent être considérablement différentes, la différence étant due à la géométrie et aux caractéristiques thermiques des faces polaires et de l'éprouvette. Il est par conséquent nécessaire d'établir, par une série d'expériences distinctes, la relation existant entre la température de l'éprouvette et celle de la face polaire.



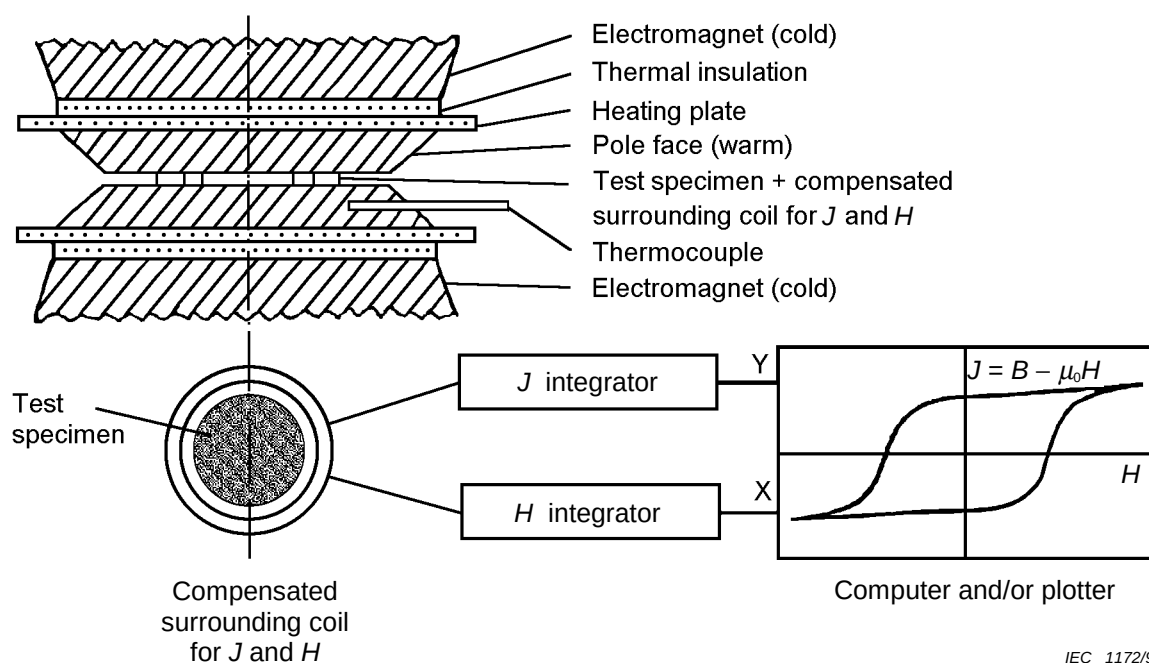
IEC 1172/99

Figure 1 – Disposition caractéristique pour chauffer une éprouvette placée entre les pôles d'un électroaimant, et diagramme du circuit de mesure

L'éprouvette est habituellement aimantée avec un aimant à impulsion avant la mise en place entre les faces polaires chauffées, afin de réaliser le niveau requis de saturation magnétique. La courbe de J en fonction de H peut être déterminée, pour une éprouvette de section transversale A , en utilisant une bobine de compensation pour $J = B - \mu_0 H$, une bobine pour H et un intégrateur de flux magnétique. La bobine de compensation J est constituée de deux bobines concentriques dont le produit de la surface réelle par le nombre de tours est constant, ce qui veut dire $N_{2a} A_1 = N_{2b} A_2$, et reliées en opposition série. En utilisant cette disposition, les mesures sont indépendantes des effets dus au flux de l'air dans l'espace situé entre l'éprouvette et les bobines captant J . Une disposition caractéristique de ces bobines est donnée à la figure 2.

However, in order to reduce the size of the apparatus to be temperature controlled, a heating system can be inserted between the magnetic poles of an electromagnet. A typical arrangement is shown in figure 1. The results of an inter-comparison in which both heating arrangements were used are given in annex A.

The system shown comprises the upper and lower poles of an electromagnet, each covered with a layer of thermal insulation against which is mounted a pair of heating plates followed by the pair of pole faces which can be made from iron or a cobalt iron alloy. The test specimen together with the J (or B) sensing coils and the H measuring system are mounted between the measuring pole faces. A hole is provided in one of the measuring poles for the insertion of a thermocouple to measure the temperature of the pole. It is important that the temperature of the test specimen and pole faces are allowed to stabilize before a measurement is made. Nevertheless, the measured temperature of the pole face and that of the test specimen can be considerably different, the difference being dependent on the geometry and the thermal characteristics of the pole faces and test specimen. It is therefore necessary to establish the relationship between the temperature of the test specimen and pole face in a series of separate experiments.



IEC 1172/99

Figure 1 – Typical arrangement for heating a test specimen mounted between the poles of an electromagnet, and block diagram of measuring circuit

The test specimen is usually magnetized in a pulse magnetizer prior to assembly into the heated pole face assembly in order to achieve the required level of magnetic saturation. The J versus H curve for a test specimen of cross-sectional area A can be determined using a $J = B - \mu_0 H$ compensated coil, H coil and magnetic flux integrator. The J compensated coil consists of two concentric coils of equal effective area turns product, that is $N_{2a} A_1 = N_{2b} A_2$, connected in series opposition. Using this arrangement, the measurements are independent of the effects of air flux in the space between the test specimen and the J sensing coils. A typical arrangement of these coils is given in figure 2.

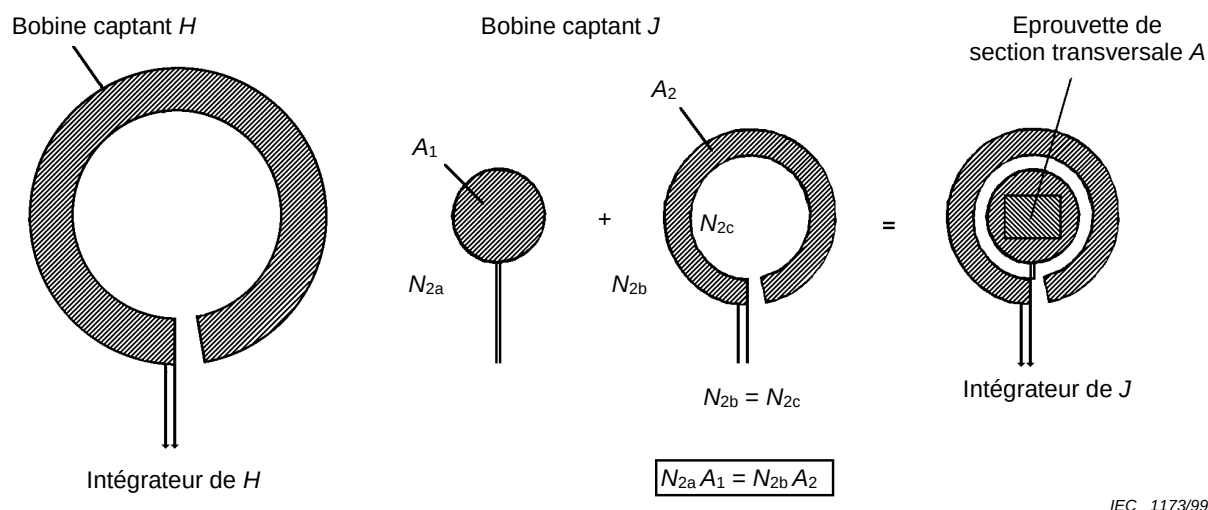


Figure 2 – Disposition caractéristique de la bobine H et de la bobine de compensation J

Une autre méthode est celle fondée sur la méthode donnée dans la CEI 60404-7. Une chambre de chauffage thermiquement isolée contient l'échantillon d'aimant à mesurer, le solénoïde, la bobine de détection de B et le capteur de température. Le mode opératoire est une mesure en circuit ouvert. La méthode pour l'aimantation de l'éprouvette recommandée par l'industrie est la méthode par impulsion. On peut seulement déduire H_{cJ} en utilisant cette méthode.

7 Exploitation des mesures

A partir de l'équation quadratique déduite des valeurs mesurées de B_r ou H_{cJ} à plus de trois températures, les coefficients de température pour B_r ou H_{cJ} peuvent être déterminés sur toute la gamme de températures entre les points le plus élevé et le plus bas, en faisant appel à un calcul statistique.

La méthode des moindres carrés est appliquée pour l'équation quadratique $y = Ax^2 + Bx + C$:

(Dans les équations suivantes, le symbole $\sum$ représente $\sum_{i=1}^n$.)

$$S = \sum \left[y_i - (Ax_i^2 + Bx_i + C) \right]^2, \text{ où } n > 3$$

$$\partial S / \partial A = 0; \quad \partial S / \partial B = 0; \quad \partial S / \partial C = 0.$$

$$S_{xx} = \sum x^2 - \left(\sum x \right)^2 / n,$$

$$S_{xy} = \sum xy - \sum x \times \sum y / n,$$

$$S_{xx^2} = \sum x^3 - \sum x \times \sum x^2 / n,$$

$$S_{x^2x^2} = \sum x^4 - \left(\sum x^2 \right)^2 / n,$$

$$S_{x^2y} = \sum x^2 y - \sum x^2 \times \sum y / n,$$

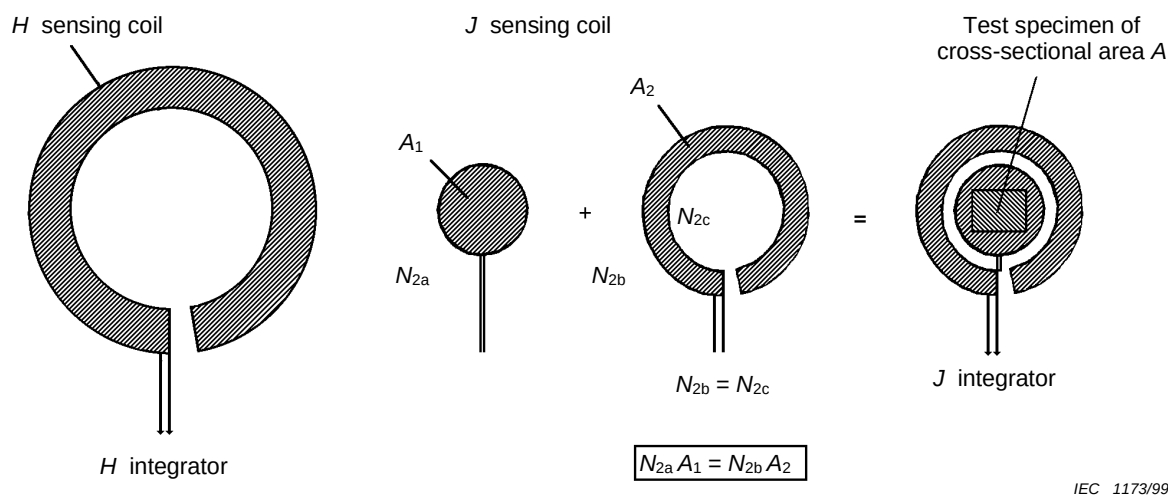


Figure 2 – Typical arrangement of H coil and J compensated coil

An alternative method is that based on the method given in IEC 60404-7. A thermally insulated heating chamber contains the magnet specimen to be measured, a solenoid, a B search coil and temperature sensor. The procedure is an open-circuit measurement. The method of magnetization of the test specimen recommended by industry is a pulse method. Only H_{cJ} can be deduced using this method.

7 Evaluation of measured data

From a quadratic equation deduced from the values of B_r or H_{cJ} measured at more than three temperatures, temperature coefficients of B_r and H_{cJ} can be determined over the temperature range between the highest and lowest points by using a statistical calculation.

The method of least squares is applied to the quadratic equation $y = Ax^2 + Bx + C$:

(In the following equations, the symbol $\sum$ represents $\sum_{i=1}^n$.)

$$S = \sum \left[y_i - (Ax_i^2 + Bx_i + C) \right]^2, \text{ where } n > 3$$

$$\partial S / \partial A = 0; \quad \partial S / \partial B = 0; \quad \partial S / \partial C = 0.$$

$$S_{xx} = \sum x^2 - \left(\sum x \right)^2 / n,$$

$$S_{xy} = \sum xy - \sum x \times \sum y / n,$$

$$S_{xx^2} = \sum x^3 - \sum x \times \sum x^2 / n,$$

$$S_{x^2x^2} = \sum x^4 - \left(\sum x^2 \right)^2 / n,$$

$$S_{x^2y} = \sum x^2 y - \sum x^2 \times \sum y / n,$$

alors

$$A = (S_{x^2y} \times S_{xx} - S_{xy} \times S_{xx^2}) / \{S_{xx} \times S_{x^2x^2} - (S_{xx^2})^2\}$$

$$B = (S_{xy} \times S_{x^2x^2} - S_{x^2y} \times S_{xx^2}) / \{S_{xx} \times S_{x^2x^2} - (S_{xx^2})^2\}$$

$$C = \sum y/n - B \times \sum x/n - A \times \sum x^2/n$$

où y est B_r (ou H_{cJ}) et x est la différence de température en Kelvin (K) ou en degrés Celsius (°C).

Par conséquent, les coefficients de température pour B_r ou H_{cJ} sont donnés comme suit:

$$\alpha_{Br} = B_{Br} / C_{Br}$$

$$\beta_{Br} = A_{Br} / C_{Br} \text{ (ce terme est négligeable si } \beta_{Br} < 1 \times 10^{-6}/K^2)$$

$$\alpha_{HcJ} = B_{HcJ} / C_{HcJ}$$

$$\beta_{HcL} = A_{HcJ} / C_{HcJ} \text{ (ce terme est négligeable si } \beta_{HcJ} < 1 \times 10^{-6}/K^2)$$

Des exemples fondés sur ces égalités sont donnés à l'annexe B.

8 Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit comporter, si cela s'applique, ce qui suit:

- le type d'éprouvette mesurée, les dimensions, la masse volumique et l'état de finition de la surface;
- les propriétés magnétiques à chaque température de mesure. La courbe d'hystérésis dans le deuxième quadrant et les valeurs de $(BH)_{\max}$, B_r , $\mu_0 H_{cB}$, $\mu_0 H_{cJ}$, $\mu_0 H_K$ et μ_{rec} ;
- les coefficients de température pour B_r : α_{Br} et β_{Br} ;
- les coefficients de température pour H_{cJ} : α_{HcJ} et β_{HcJ} ;
- le type de matériel utilisé pour l'aimantation et les mesures (circuit fermé ou circuit ouvert);
- la température à laquelle les mesures sont réalisées;
- la valeur effective du champ d'aimantation.

then

$$A = (S_{x^2y} \times S_{xx} - S_{xy} \times S_{xx^2}) / \{S_{xx} \times S_{x^2x^2} - (S_{xx^2})^2\}$$

$$B = (S_{xy} \times S_{x^2x^2} - S_{x^2y} \times S_{xx^2}) / \{S_{xx} \times S_{x^2x^2} - (S_{xx^2})^2\}$$

$$C = \sum y/n - B \times \sum x/n - A \times \sum x^2/n$$

where y is B_r (or H_{cJ}) and x is the temperature difference in Kelvin (K) or degrees Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

Therefore, the temperature coefficients of B_r and H_{cJ} are given as follows:

$$\alpha_{Br} = B_{Br} / C_{Br}$$

$$\beta_{Br} = A_{Br} / C_{Br} \text{ (this can be neglected if } \beta_{Br} < 1 \times 10^{-6} / \text{K}^2 \text{)}$$

$$\alpha_{HcJ} = B_{HcJ} / C_{HcJ}$$

$$\beta_{HcJ} = A_{HcJ} / C_{HcJ} \text{ (this can be neglected if } \beta_{HcJ} < 1 \times 10^{-6} / \text{K}^2 \text{)}$$

Examples based on these equations are given in annex B.

8 Test report

The test report shall include the following, as applicable:

- type of specimen measured, dimensions, density and surface finish;
- magnetic properties at each measurement temperature. The second quadrant of the hysteresis loop and the values of $(BH)_{\max}$, B_r , $\mu_0 H_{cB}$, $\mu_0 H_{cJ}$, $\mu_0 H_K$ and μ_{rec} ;
- temperature coefficients of B_r : α_{Br} and β_{Br} ;
- temperature coefficients of H_{cJ} : α_{HcJ} and β_{HcJ} ;
- type of magnetizing and measuring equipment used (closed or open circuit);
- temperature at which measurements are made;
- value of effective magnetizing field strength.

Annexe A

Résultats d'une intercomparaison des mesures effectuées sur un matériau magnétiquement dur (aimant permanent) pour des températures élevées

A.1 Introduction

L'intercomparaison a été organisée par le Laboratoire Lucas Varity Advanced Vehicle Systems Development (Royaume Uni). Les cinq participants étaient les suivants:

- Laboratoire Lucas Varity Advanced Vehicle Systems Development, Royaume Uni;
- UME, Maramara Research Centre, Turquie;
- Magnet-Physik, Allemagne;
- Robert Bosch GmbH, Allemagne;
- Sumitomo Special Metals Co. Ltd., Japon.

A.2 Eprouvettes

Les éprouvettes 2P2, 2P3, 2P4 et n° 13 ont été produites à partir d'un matériau fritté en néodyme de fer et de bore, de forte coercitivité. L'éprouvette n° 73P a été produite à partir d'un matériau fritté en néodyme de fer et de bore de moyenne coercitivité.

A.3 Méthode de mesure

Tous les participants ont effectué leurs mesures en utilisant la méthode décrite dans la CEI 60404-5. Les mesures réalisées par Lucas, UME, Magnet-Physik et Bosch ont été faites en utilisant le dispositif illustré à la figure 1 du présent rapport pour chauffer l'éprouvette entre les faces polaires. Les mesures effectuées par Sumitomo ont été faites avec l'appareil immergé dans un récipient plein d'huile dont la température était contrôlée.

Les dates des mesures sont les suivantes:

Lucas Varity:	1992 (et 1996 pour 2P3)
UME:	1996
Magnet-Physik:	1993
Bosch:	1992
Sumitomo:	1994

A.4 Résultats

Les résultats sont donnés au tableau A.1. Les différences entre les résultats obtenus par un laboratoire participant et ceux obtenus par Lucas ont été calculées comme suit:

$$\Delta \% = [(Lucas - Participant) / Lucas] \times 100$$

Annex A

Results of an inter-comparison of measurements on magnetically hard (permanent magnet) material at elevated temperatures

A.1 Introduction

The inter-comparison was organized by the Lucas Varity Advanced Vehicle Systems Development Laboratory, UK. The five participants were

- Lucas Varity Advanced Vehicle Systems Development Laboratory, United Kingdom;
- UME, Maramara Research Centre, Turkey;
- Magnet-Physik, Germany;
- Robert Bosch GmbH, Germany;
- Sumitomo Special Metals Co. Ltd., Japan.

A.2 Test specimens

The test specimens 2P2, 2P3, 2P4 and No. 13 were produced from sintered high coercivity neodymium iron boron material. The test specimen No. 73P was produced from sintered medium coercivity neodymium iron boron.

A.3 Method of measurement

All participants carried out the measurements using the method described in IEC 60404-5. The measurements carried out at Lucas, UME, Magnet-Physik and Bosch were made using the arrangement shown in figure 1 of this report to heat the test specimen between the pole faces. The measurements carried out at Sumitomo were made with the apparatus immersed in an oil filled tank, the temperature of which was controlled.

The dates of the measurements were as follows:

Lucas Varity:	1992 (and 1996 for 2P3)
UME:	1996
Magnet-Physik:	1993
Bosch:	1992
Sumitomo:	1994

A.4 Results

The results are given in table A.1. The differences between the results obtained by a participating laboratory and those obtained by Lucas have been calculated as follows:

$$\Delta \% = [(Lucas - Participant) / Lucas] \times 100$$

A.5 Conclusions

Les résultats donnés dans le tableau A.1 démontrent une concordance raisonnable entre les sociétés Lucas, UME et Magnet Physik pour tous les paramètres et sur la gamme des températures comprises entre 23 °C et 150 °C, ainsi qu'avec Sumitomo pour des températures allant jusqu'à 120 °C.

Les coefficients de température α_{Br} pour la rémanence, pour les aimants NdFeB et les aimants en ferrite de Sr calculés dans l'annexe B sont en bon accord avec les valeurs obtenues à partir des résultats de l'intercomparaison illustrée par le tableau A.1, et avec les valeurs acceptées et déterminées par une méthode en circuit ouvert. Celles-ci sont les suivantes:

- NdFeB 0,10 %/°C;
- ferrite de Sr 0,19 %/°C.

Il peut également être noté que la valeur de α_{Br} pour Alnico est de 0,02 %/°C.

A.5 Conclusions

The results given in table A.1 show reasonable agreement between the Lucas, UME and Magnet Physik for all parameters over the temperature range 23 °C to 150 °C and also with Sumitomo up to a temperature of 120 °C.

The temperature coefficients α_{Br} of remanence for NdFeB and Sr ferrite magnets calculated in annex B are in close agreement with the values obtained from the results of the inter-comparison shown in table A.1 and with accepted values determined by an open-circuit method. The latter are as follows:

- NdFeB 0,10 %/°C;
- Sr ferrite 0,19 %/°C.

It may also be noted that the value of α_{Br} for Alnico is 0,02 %/°C.

Tableau A.1 – Résultats de l'intercomparaison des mesures

Paramètre	Température °C	Echantillon n° 73 P			Température °C	Echantillon n° 2P2			Température °C	Echantillon n° 2P4			Température °C	Echantillon		
		UME	Lucas	Δ (%)		Magnet-Physik	Lucas	Δ (%)		Bosch	Lucas	Δ (%)		n° 13 Sumitomo	n° 2P3 Lucas	Δ (%)
B_r (T)	23	1,146	1,1518	0,50	23,6	1,077	1,080	0,27	24	1,100	1,0795	-1,9	20	1,086	1,08	-0,56
H_{CB} (kA/m)		862,9	868,8	0,68		790,2	788	-0,28		-	792,4	-		799	793	-0,76
H_{cJ} (kA/m)		1 009	1 011,4	0,24		>1 126	1 624	-		-	1 588,4	-		1 607	1 595	-0,75
BH_{max} (kJ/m ³)		247	250,6	1,44		211,6	213	0,66		-	213,01	-		216,5	214	-1,2
B_r (T)	60	1,106	1,1115	0,49	80	1,019	1,022	0,29	60	1,067	1,0431	-2,3	60	1,033	1,04	0,7
H_{CB} (kA/m)		679,1	690,2	1,61		730,2	727,2	-0,41		-	754,37	-		749	752	0,4
H_{cJ} (kA/m)		692,8	704,8	1,70		982,2	952,0	-3,2		1 182	1 148,7	-2,9		1 159	1 136	-2,0
BH_{max} (kJ/m ³)		229,4	231,9	1,08		186,9	186,8	-0,05		-	196,41	-		193,4	195	0,8
B_r (T)	120	1,03	1,0287	-0,13	120	0,965	0,970	0,52	125	0,982	0,9569	-2,6	100	0,991	0,99	0
H_{CB} (kA/m)		358,1	361,4	0,91		565,6	560,5	-0,91		-	491,85	-		680,6	659	-3,3
H_{cJ} (kA/m)		364,9	363,9	-0,27		594,2	579,2	-2,6		554,0	502,59	-10,2		777,8	715	-8,8
BH_{max} (kJ/m ³)		186	186,7	0,37		162,7	163,8	0,67		-	157,53	-		175,1	173	-1,2
B_r (T)	150	0,969	0,9782	0,94	150	0,921	0,923	0,22	150	0,943	0,9119	-3,4	140	0,940	0,93	-1,1
H_{CB} (kA/m)		238,7	240,0	0,54		369,6	352,1	-5,0		-	315,85	-		451,2	386	-17
H_{cJ} (kA/m)		240,1	242,6	1,03		381,6	358,6	-6,4		378,0	320,47	-18		461,7	389	-19
BH_{max} (kJ/m ³)		140,5	141,7	0,85		139,0	137,4	-1,2		-	129,93	-		151,2	142	-6,5

Table A.1 – Results of the inter-comparison of measurements

Parameter	Temperature °C	Sample No. 73 P			Temperature °C	Sample No. 2P2			Temperature °C	Sample No. 2P4			Temperature °C	Sample		
		UME	Lucas	Δ (%)		Magnet-Physik	Lucas	Δ (%)		Bosch	Lucas	Δ (%)		No.13 Sumitomo	No.2P3 Lucas	Δ (%)
B_r (T)	23	1,146	1,1518	0,50	23,6	1,077	1,080	0,27	24	1,100	1,0795	-1,9	20	1,086	1,08	-0,56
H_{CB} (kA/m)		862,9	868,8	0,68		790,2	788	-0,28		-	792,4	-		799	793	-0,76
H_{cJ} (kA/m)		1 009	1 011,4	0,24		>1 126	1 624	-		-	1 588,4	-		1 607	1 595	-0,75
BH_{max} (kJ/m ³)		247	250,6	1,44		211,6	213	0,66		-	213,01	-		216,5	214	-1,2
B_r (T)	60	1,106	1,1115	0,49	80	1,019	1,022	0,29	60	1,067	1,0431	-2,3	60	1,033	1,04	0,7
H_{CB} (kA/m)		679,1	690,2	1,61		730,2	727,2	-0,41		-	754,37	-		749	752	0,4
H_{cJ} (kA/m)		692,8	704,8	1,70		982,2	952,0	-3,2		1 182	1 148,7	-2,9		1 159	1 136	-2,0
BH_{max} (kJ/m ³)		229,4	231,9	1,08		186,9	186,8	-0,05		-	196,41	-		193,4	195	0,8
B_r (T)	120	1,03	1,0287	-0,13	120	0,965	0,970	0,52	125	0,982	0,9569	-2,6	100	0,991	0,99	0
H_{CB} (kA/m)		358,1	361,4	0,91		565,6	560,5	-0,91		-	491,85	-		680,6	659	-3,3
H_{cJ} (kA/m)		364,9	363,9	-0,27		594,2	579,2	-2,6		554,0	502,59	-10,2		777,8	715	-8,8
BH_{max} (kJ/m ³)		186	186,7	0,37		162,7	163,8	0,67		-	157,53	-		175,1	173	-1,2
B_r (T)	150	0,969	0,9782	0,94	150	0,921	0,923	0,22	150	0,943	0,9119	-3,4	140	0,940	0,93	-1,1
H_{CB} (kA/m)		238,7	240,0	0,54		369,6	352,1	-5,0		-	315,85	-		451,2	386	-17
H_{cJ} (kA/m)		240,1	242,6	1,03		381,6	358,6	-6,4		378,0	320,47	-18		461,7	389	-19
BH_{max} (kJ/m ³)		140,5	141,7	0,85		139,0	137,4	-1,2		-	129,93	-		151,2	142	-6,5

Annex B

Exemples de calculs

On donne deux exemples de détermination des coefficients de température pour B_r et $\mu_0 H_{CJ}$ à partir de l'équation quadratique approchée $\{A(\Delta T)^2 + B(\Delta T) + C\}$.

B.1 Aimant fritté NdFeB magnétiquement anisotrope

Température °C	Différence de température ΔT K	B_r , observé T	B_r , calculé T	$\mu_0 H_{CJ}$, observé T	$\mu_0 H_{CJ}$, calculé T
20	0	1,237	1,236	2,15	2,162
60	40	1,183	1,184	1,68	1,659
100	80	1,128	1,129	1,20	1,192
140	120	1,074	1,071	0,73	0,761
180	160	1,009	1,010	0,38	0,366

Coefficients des équations quadratiques:

$$\begin{aligned} A_{Br} &= -0,9375 \times 10^{-6} \text{ T/K}^2; & A_{\mu_0 H_{CJ}} &= 11,16 \times 10^{-6} \text{ T/K}^2; \\ B_{Br} &= -1263 \times 10^{-6} \text{ T/K}; & B_{\mu_0 H_{CJ}} &= -13011 \times 10^{-6} \text{ T/K}; \\ C_{Br} &= 1,2362 \text{ T}; & C_{\mu_0 H_{CJ}} &= 2,1617 \text{ T}. \end{aligned}$$

Coefficients de température:

$$\begin{aligned} \alpha_{Br} &= B_{Br}/C_{Br} = -1021 \times 10^{-6}/\text{K}; & \alpha_{\mu_0 H_{CJ}} &= B_{\mu_0 H_{CJ}}/C_{\mu_0 H_{CJ}} = -6019 \times 10^{-6}/\text{K} \\ \beta_{Br} &= A_{Br}/C_{Br} = -0,7584 \times 10^{-6}/\text{K}^2; & \beta_{\mu_0 H_{CJ}} &= A_{\mu_0 H_{CJ}}/C_{\mu_0 H_{CJ}} = 5,163 \times 10^{-6}/\text{K}^2 \end{aligned}$$

B.2 Aimant fritté en ferrite de Sr magnétiquement anisotrope

Température °C	Différence de température ΔT K	B_r , observé T	B_r , calculé T	$\mu_0 H_{CJ}$, observé T	$\mu_0 H_{CJ}$, calculé T
-60	-80	0,510	0,510	0,176	0,176
-20	-40	0,475	0,476	0,225	0,225
20	0	0,441	0,441	0,274	0,274
60	40	0,407	0,407	0,323	0,323
100	80	0,372	0,372	0,372	0,372
140	120	0,337	0,337	0,422	0,422

Coefficients des équations quadratiques:

$$\begin{aligned} A_{Br} &= -0,04464 \times 10^{-6} \text{ T/K}^2; & A_{\mu_0 H_{CJ}} &= 0,05580 \times 10^{-6} \text{ T/K}^2; \\ B_{Br} &= -861,1 \times 10^{-6} \text{ T/K}; & B_{\mu_0 H_{CJ}} &= 1226,3 \times 10^{-6} \text{ T/K}; \\ C_{Br} &= 0,4411 \text{ T}; & C_{\mu_0 H_{CJ}} &= 0,2739 \text{ T}. \end{aligned}$$

Coefficients de température:

$$\begin{aligned} \alpha_{Br} &= B_{Br}/C_{Br} = -1952,1 \times 10^{-6}/\text{K}; & \alpha_{\mu_0 H_{CJ}} &= B_{\mu_0 H_{CJ}}/C_{\mu_0 H_{CJ}} = 4478 \times 10^{-6}/\text{K}; \\ \beta_{Br} &= A_{Br}/C_{Br} = -0,1012 \times 10^{-6}/\text{K}^2; & \beta_{\mu_0 H_{CJ}} &= A_{\mu_0 H_{CJ}}/C_{\mu_0 H_{CJ}} = 0,2038 \times 10^{-6}/\text{K}^2. \end{aligned}$$

Annex B

Example calculations

Two examples are given of the determination of the temperature coefficients of B_r and $\mu_0 H_{cJ}$ from the approximated quadratic equation $\{A(\Delta T)^2 + B(\Delta T) + C\}$.

B.1 Magnetically anisotropic sintered NdFeB magnet

Temperature °C	Temperature Difference ΔT K	B_r , observed T	B_r , calculated T	$\mu_0 H_{cJ}$, observed T	$\mu_0 H_{cJ}$, calculated T
20	0	1,237	1,236	2,15	2,162
60	40	1,183	1,184	1,68	1,659
100	80	1,128	1,129	1,20	1,192
140	120	1,074	1,071	0,73	0,761
180	160	1,009	1,010	0,38	0,366

Coefficients of quadratic equations:

$$A_{Br} = -0,937\,5 \times 10^{-6} \text{ T/K}^2;$$

$$A_{\mu_0 H_{cJ}} = 11,16 \times 10^{-6} \text{ T/K}^2;$$

$$B_{Br} = -1\,263 \times 10^{-6} \text{ T/K};$$

$$B_{\mu_0 H_{cJ}} = -13\,011 \times 10^{-6} \text{ T/K};$$

$$C_{Br} = 1,236\,2 \text{ T};$$

$$C_{\mu_0 H_{cJ}} = 2,161\,7 \text{ T}.$$

Temperature coefficients:

$$\alpha_{Br} = B_{Br}/C_{Br} = -1\,021 \times 10^{-6}/\text{K};$$

$$\alpha_{\mu_0 H_{cJ}} = B_{\mu_0 H_{cJ}}/C_{\mu_0 H_{cJ}} = -6\,019 \times 10^{-6}/\text{K}$$

$$\beta_{Br} = A_{Br}/C_{Br} = -0,758\,4 \times 10^{-6}/\text{K}^2; \quad \beta_{\mu_0 H_{cJ}} = A_{\mu_0 H_{cJ}}/C_{\mu_0 H_{cJ}} = 5,163 \times 10^{-6}/\text{K}^2$$

B.2 Magnetically anisotropic sintered Sr-ferrite magnet

Temperature °C	Temperature Difference ΔT K	B_r , observed T	B_r , calculated T	$\mu_0 H_{cJ}$, observed T	$\mu_0 H_{cJ}$, calculated T
-60	-80	0,510	0,510	0,176	0,176
-20	-40	0,475	0,476	0,225	0,225
20	0	0,441	0,441	0,274	0,274
60	40	0,407	0,407	0,323	0,323
100	80	0,372	0,372	0,372	0,372
140	120	0,337	0,337	0,422	0,422

Coefficients of quadratic equations:

$$A_{Br} = -0,044\,64 \times 10^{-6} \text{ T/K}^2;$$

$$A_{\mu_0 H_{cJ}} = 0,055\,80 \times 10^{-6} \text{ T/K}^2;$$

$$B_{Br} = -861,1 \times 10^{-6} \text{ T/K};$$

$$B_{\mu_0 H_{cJ}} = 1\,226,3 \times 10^{-6} \text{ T/K};$$

$$C_{Br} = 0,441\,1 \text{ T};$$

$$C_{\mu_0 H_{cJ}} = 0,273\,9 \text{ T}.$$

Temperature coefficients:

$$\alpha_{Br} = B_{Br}/C_{Br} = -1\,952,1 \times 10^{-6}/\text{K};$$

$$\alpha_{\mu_0 H_{cJ}} = B_{\mu_0 H_{cJ}}/C_{\mu_0 H_{cJ}} = 4\,478 \times 10^{-6}/\text{K};$$

$$\beta_{Br} = A_{Br}/C_{Br} = -0,101\,2 \times 10^{-6}/\text{K}^2; \quad \beta_{\mu_0 H_{cJ}} = A_{\mu_0 H_{cJ}}/C_{\mu_0 H_{cJ}} = 0,203\,8 \times 10^{-6}/\text{K}^2.$$



Standards Survey

The IEC would like to offer you the best quality standards possible. To make sure that we continue to meet your needs, your feedback is essential. Would you please take a minute to answer the questions overleaf and fax them to us at +41 22 919 03 00 or mail them to the address below. Thank you!

Customer Service Centre (CSC)

International Electrotechnical Commission

3, rue de Varembé

1211 Genève 20

Switzerland

or

Fax to: **IEC/CSC** at +41 22 919 03 00

Thank you for your contribution to the standards-making process.

A Prioritaire

Nicht frankieren
Ne pas affranchir



Non affrancare
No stamp required

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Customer Service Centre (CSC)

International Electrotechnical Commission

3, rue de Varembé

1211 GENEVA 20

Switzerland



Q1 Please report on **ONE STANDARD** and **ONE STANDARD ONLY**. Enter the exact number of the standard: (e.g. 60601-1-1)

.....

Q2 Please tell us in what capacity(ies) you bought the standard (tick all that apply). I am the/a:

- purchasing agent ☐
 librarian ☐
 researcher ☐
 design engineer ☐
 safety engineer ☐
 testing engineer ☐
 marketing specialist ☐
 other

Q3 I work for/in/as a:
(tick all that apply)

- manufacturing ☐
 consultant ☐
 government ☐
 test/certification facility ☐
 public utility ☐
 education ☐
 military ☐
 other

Q4 This standard will be used for:
(tick all that apply)

- general reference ☐
 product research ☐
 product design/development ☐
 specifications ☐
 tenders ☐
 quality assessment ☐
 certification ☐
 technical documentation ☐
 thesis ☐
 manufacturing ☐
 other

Q5 This standard meets my needs:
(tick one)

- not at all ☐
 nearly ☐
 fairly well ☐
 exactly ☐

Q6 If you ticked NOT AT ALL in Question 5 the reason is: (tick all that apply)

- standard is out of date ☐
 standard is incomplete ☐
 standard is too academic ☐
 standard is too superficial ☐
 title is misleading ☐
 I made the wrong choice ☐
 other

Q7 Please assess the standard in the following categories, using the numbers:

- (1) unacceptable,
 (2) below average,
 (3) average,
 (4) above average,
 (5) exceptional,
 (6) not applicable

- timeliness
 quality of writing.....
 technical contents.....
 logic of arrangement of contents
 tables, charts, graphs, figures.....
 other

Q8 I read/use the: (tick one)

- French text only ☐
 English text only ☐
 both English and French texts ☐

Q9 Please share any comment on any aspect of the IEC that you would like us to know:

.....





Enquête sur les normes

La CEI ambitionne de vous offrir les meilleures normes possibles. Pour nous assurer que nous continuons à répondre à votre attente, nous avons besoin de quelques renseignements de votre part. Nous vous demandons simplement de consacrer un instant pour répondre au questionnaire ci-après et de nous le retourner par fax au +41 22 919 03 00 ou par courrier à l'adresse ci-dessous. Merci !

Centre du Service Clientèle (CSC)

Commission Electrotechnique Internationale

3, rue de Varembé

1211 Genève 20

Suisse

ou

Télécopie: **CEI/CSC** +41 22 919 03 00

Nous vous remercions de la contribution que vous voudrez bien apporter ainsi à la Normalisation Internationale.

A Prioritaire

Nicht frankieren
Ne pas affranchir



Non affrancare
No stamp required

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Centre du Service Clientèle (CSC)

Commission Electrotechnique Internationale

3, rue de Varembé

1211 GENÈVE 20

Suisse

Q1 Veuillez ne mentionner qu'**UNE SEULE NORME** et indiquer son numéro exact:
(ex. 60601-1-1)
.....

Q2 En tant qu'acheteur de cette norme, quelle est votre fonction?
(cochez tout ce qui convient)
Je suis le/un:

- agent d'un service d'achat ☐
bibliothécaire ☐
chercheur ☐
ingénieur concepteur ☐
ingénieur sécurité ☐
ingénieur d'essais ☐
spécialiste en marketing ☐
autre(s).....

Q3 Je travaille:
(cochez tout ce qui convient)

- dans l'industrie ☐
comme consultant ☐
pour un gouvernement ☐
pour un organisme d'essais/
certification ☐
dans un service public ☐
dans l'enseignement ☐
comme militaire ☐
autre(s).....

Q4 Cette norme sera utilisée pour/comme
(cochez tout ce qui convient)

- ouvrage de référence ☐
une recherche de produit ☐
une étude/développement de produit ☐
des spécifications ☐
des soumissions ☐
une évaluation de la qualité ☐
une certification ☐
une documentation technique ☐
une thèse ☐
la fabrication ☐
autre(s).....

Q5 Cette norme répond-elle à vos besoins:
(une seule réponse)

- pas du tout ☐
à peu près ☐
assez bien ☐
parfaitement ☐

Q6 Si vous avez répondu PAS DU TOUT à Q5, c'est pour la/les raison(s) suivantes:
(cochez tout ce qui convient)

- la norme a besoin d'être révisée ☐
la norme est incomplète ☐
la norme est trop théorique ☐
la norme est trop superficielle ☐
le titre est équivoque ☐
je n'ai pas fait le bon choix ☐
autre(s)

Q7 Veuillez évaluer chacun des critères ci-dessous en utilisant les chiffres
(1) inacceptable,
(2) au-dessous de la moyenne,
(3) moyen,
(4) au-dessus de la moyenne,
(5) exceptionnel,
(6) sans objet

- publication en temps opportun
qualité de la rédaction.....
contenu technique
disposition logique du contenu
tableaux, diagrammes, graphiques,
figures
autre(s)

Q8 Je lis/utilise: (une seule réponse)

- uniquement le texte français ☐
uniquement le texte anglais ☐
les textes anglais et français ☐

Q9 Veuillez nous faire part de vos observations éventuelles sur la CEI:

-
.....
.....
.....
.....



ISBN 2-8318-4908-X



ICS 17.220.99; 29.030
