

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
740-2**

Première édition
First edition
1993-06

**Tôles découpées pour transformateurs et
Inductances destinés aux équipements
électroniques et de télécommunications**

Partie 2:

Spécification des perméabilités
minimales pour les tôles découpées en
matériau métallique magnétiquement doux

**Laminations for transformers and
inductors for use in telecommunication
and electronic equipment**

Part 2:

Specification for the minimum
permeabilities of laminations made
of soft magnetic metallic materials



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 740-2: 1993

Révision de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CIEI est constamment revu par la Commission afin d'assurer qu'il reflète bien l'état actuel de la technique.

Les renseignements relatifs à ce travail de révision, à l'établissement des éditions révisées et aux mises à jour peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CIEI et en consultant les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CIEI**
- **Annuaire de la CIEI**
- **Catalogue des publications de la CIEI**
Publié annuellement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la Publication 50 de la CIEI: Vocabulaire Electrotechnique International (VEI), qui est établie sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini, l'index général étant publié séparément. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande.

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

Symboles graphiques et littéraux

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

- la Publication 27 de la CIEI: Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique;
- la Publication 617 de la CIEI: Symboles graphiques pour schémas.

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit repris des Publications 27 ou 617 de la CIEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CIEI établies par le même Comité d'Etudes

L'attention du lecteur est attirée sur le deuxième feuillet de la couverture, qui énumère les publications de la CIEI préparées par le Comité d'Etudes qui a établi la présente publication.

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

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
- **Catalogue of IEC Publications**
Published yearly

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC Publication 50: International Electrotechnical Vocabulary (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field, the General Index being published as a separate booklet. Full details of the IEV will be supplied on request.

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:

- IEC Publication 27: Letter symbols to be used in electrical technology;
- IEC Publication 617: Graphical symbols for diagrams.

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC Publications 27 or 617, 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 back cover, which lists IEC publications issued by the Technical Committee which has prepared the present publication.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
740-2**

Première édition
First edition
1993-06

**Tôles découpées pour transformateurs et
inductances destinés aux équipements
électroniques et de télécommunications**

Partie 2:

Spécification des perméabilités
minimales pour les tôles découpées en
matériau métallique magnétiquement doux

**Laminations for transformers and
inductors for use in telecommunication
and electronic equipment**

Part 2:

Specification for the minimum
permeabilities of laminations made
of soft magnetic metallic materials

© CEI 1993 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 le 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 Varemblé 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
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION.....	6
Articles	
1 Domaine d'application.....	8
2 Références normatives	8
3 Termes et définitions.....	8
3.1 Sous-classe d'alliage.....	8
3.2 Nuance magnétique	8
4 Désignation élargie des tôles découpées.....	10
5 Propriétés physiques générales	10
6 Exigences de perméabilité pour le matériau des tôles découpées.....	12
7 Exigences de perméabilité pour les tôles découpées.....	12
7.1 Perméabilité minimale des tôles découpées, $\mu_{lam}(\min)$	12
7.2 Inductance spécifique, A_L	14
7.3 Facteur d'accroissement de la perméabilité, δ	14
8 Calcul de la perméabilité des tôles découpées, μ_{lam}	26
8.1 Généralités	26
8.2 Principe du calcul	26
8.3 Procédure.....	28
8.4 Exemple numérique	34
Figures	36
Annexe A Bibliographie.....	38

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	7
Clause	
1 Scope	9
2 Normative references	9
3 Terms and definitions	9
3.1 Alloy subclass	9
3.2 Magnetic grade	9
4 Extended designation of laminations	11
5 General physical properties	11
6 Permeability requirements for the lamination material	13
7 Permeability requirements for laminations	13
7.1 Minimum lamination permeability, μ_{lamin} (min)	13
7.2 Inductance factor, A_L	15
7.3 Permeability rise factor, δ	15
8 Calculation of lamination permeability, μ_{lamin}	27
8.1 General	27
8.2 Principle of the calculation	27
8.3 Procedure	29
8.4 Numerical example	35
Figures	37
Annex A Bibliography	38

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**TÔLES DÉCOUPÉES POUR TRANSFORMATEURS ET INDUCTANCES
DESTINÉS AUX ÉQUIPEMENTS ÉLECTRONIQUES
ET DE TÉLÉCOMMUNICATIONS**

**Partie 2: Spécification des perméabilités minimales pour les tôles
découpées en matériau métallique magnétiquement doux**

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique 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 en ce qui concerne les questions techniques, préparés par les comités d'études 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.
- 3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles 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.

La Norme internationale CEI 740-2 a été établie par le comité d'études 51 de la CEI: Composants magnétiques et ferrites.

Cette norme constitue la partie 2 de la CEI 740.

La CEI 740 (1982) et son amendement 1 (1991) constitueront, une fois révisés, la CEI 740-1.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Dis	Rapport de vote
51(BC)290	51(BC)297

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**LAMINATIONS FOR TRANSFORMERS AND INDUCTORS FOR USE
IN TELECOMMUNICATION AND ELECTRONIC EQUIPMENT**
**Part 2: Specification for the minimum permeabilities of laminations
made of soft magnetic metallic materials**

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 cooperation 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, 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.
- 3) They have the form of recommendations for international use published in the form of standards, 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.

International Standard IEC 740-2 has been prepared by IEC technical committee 51: Magnetic components and ferrite materials.

This standard constitutes part 2 of IEC 740.

After they have been revised, IEC 740 (1982) and its Amendment 1 (1991) will constitute IEC 740-1.

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

DIS	Report on Voting
51(CO)290	51(CO)297

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

INTRODUCTION

Le comité d'études 68 a la responsabilité d'une série de normes sur les matériaux, dont certains sont utilisés pour les tôles découpées.

A la réunion conjointe du CE 51 et du CE 68 tenue à Londres en 1984, il a été décidé que le CE 51 s'occuperait d'une norme sur les propriétés électromagnétiques des tôles découpées (telles qu'elles sont définies dans la CEI 740) en matériau métallique magnétiquement doux, tandis que le CE 68 préparerait une norme sur les matériaux magnétiquement doux sans référence aucune aux tôles découpées. Cette norme - la CEI 404-8-6 - fut publiée en 1986.

La présente partie de la CEI 740 se base sur les travaux effectués par le CE 68 et, en particulier, elle utilise la désignation des classes d'alliages normalisée dans la CEI 404-1 et les tableaux II, III et IV de la CEI 404-8-6.

INTRODUCTION

Technical committee 68 is responsible for a series of standards on materials, some of which are used to make laminations.

At the joint meeting of TC 51 and TC 68 held in London in 1984, it was agreed that TC 51 should proceed with a standard for the electromagnetic properties of laminations (as defined in IEC 740) made from soft magnetic metallic materials, whilst TC 68 would prepare a standard covering soft magnetic materials without making any reference to laminations. This was subsequently published as IEC 404-8-6 (1986).

This part of IEC 740 draws upon work done by TC 68 and in particular utilises the alloy class designation standardized in IEC 404-1, and tables II, III and IV of IEC 404-8-6.

TÔLES DÉCOUPÉES POUR TRANSFORMATEURS ET INDUCTANCES DESTINÉS AUX ÉQUIPEMENTS ÉLECTRONIQUES ET DE TÉLÉCOMMUNICATIONS

Partie 2: Spécification des perméabilités minimales pour les tôles découpées en matériau métallique magnétiquement doux

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 740 spécifie les exigences pour les perméabilités minimales des tôles découpées en alliages fer-silicium et fer-nickel définies par les classes d'alliages C2, E1, E3 et E4 dans la CEI 404-1. En particulier, ces exigences s'appliquent aux tôles découpées spécifiées dans la CEI 740 (future partie 1). Les propriétés spécifiées s'appliquent aux tôles découpées après traitement thermique; elles sont mesurées à 50 Hz ou 60 Hz et dans des conditions assurant un flux magnétique sinusoïdal.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 740. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 740 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 404-1: 1979, *Matériaux magnétiques - Première partie: Classification*

CEI 404-8-6: 1986, *Matériaux magnétiques - Huitième partie: Spécifications pour matériaux particuliers - Section six: Matériaux métalliques magnétiquement doux*
Amendement 1 (1992)

CEI 740: 1982, *Tôles découpées pour transformateurs et inductances destinés aux équipements électroniques et de télécommunications*
Amendement 1 (1991)

ISO 3: 1973, *Nombres normaux - Séries de nombres normaux*

3 Termes et définitions

Pour la majorité des termes utilisés dans cette norme, on se reportera aux définitions données à l'article 2 de la CEI 740. Pour les besoins de cette partie de la CEI 740, les définitions suivantes s'appliquent également.

3.1 sous-classe d'alliage: Pour les classes d'alliage E1 à E4, on ajoute un deuxième chiffre qui représente la forme du cycle d'hystérésis: 1 pour cycle arrondi, 2 pour cycle rectangulaire.

3.2 nuance magnétique: Nombre à deux chiffres correspondant à la valeur de la perméabilité relative du matériau et exprimant, quand il est adjoind à la classe ou sous-classe de l'alliage, différentes nuances magnétiques.

LAMINATIONS FOR TRANSFORMERS AND INDUCTORS FOR USE IN TELECOMMUNICATION AND ELECTRONIC EQUIPMENT

Part 2: Specification for the minimum permeabilities of laminations made of soft magnetic metallic materials

1 Scope

This part of IEC 740 specifies requirements for the minimum permeabilities of laminations made of silicon-iron and nickel-iron alloys as defined by the alloy classes C2, E1, E3 and E4 of IEC 404-1. In particular, these requirements relate to the laminations specified in IEC 740 (future part 1). The properties specified apply to laminations in the fully heat-treated state, when measured at 50 Hz or 60 Hz and under conditions ensuring sinusoidal magnetic flux.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 740. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this part of IEC 740 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 404-1: 1979, *Magnetic materials – Part 1: Classification*

IEC 404-8-6: 1986, *Magnetic materials – Part 8: Specifications for individual materials Section 6: Soft magnetic metallic materials*
Amendment 1 (1992)

IEC 740: 1982, *Laminations for transformers and inductors for use in telecommunication and electronic equipment*
Amendment 1 (1991)

ISO 3: 1973, *Preferred numbers – Series of preferred numbers*

3 Terms and definitions

For the definitions of the majority of the terms used in this standard, reference should be made to clause 2 of IEC 740. For the purpose of this part of IEC 740, the following definitions also apply.

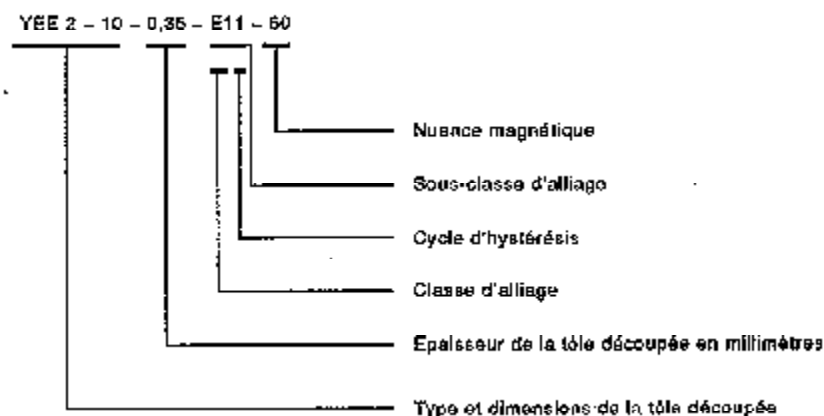
3.1 alloy subclass: For alloy classes E1 to E4, the alloy class is enlarged by a second digit which expresses the shape of the hysteresis loop: 1 for a round loop; 2 for a rectangular loop.

3.2 magnetic grade: A two-digit number corresponding to the value of the relative material permeability, which, when added to the alloy (sub)class, expresses different magnetic grades.

4 Désignation élargie des tôles découpées

Lorsqu'il est nécessaire de spécifier les tôles découpées non seulement par les dimensions, la forme et l'épaisseur mais également en termes de performance, ce qui implique l'utilisation d'un alliage particulier, il est nécessaire d'élargir la désignation donnée à l'article 6 de la CEI 740.

La désignation élargie s'exprime alors comme dans l'exemple suivant:



5 Propriétés physiques générales

Le tableau 1 donne les valeurs typiques de certaines propriétés physiques principales des matériaux utilisés pour la fabrication des tôles découpées entrant dans le domaine d'application de la présente norme.

Tableau 1 - Valeurs typiques des propriétés magnétiques, électriques et thermiques

Sous-classe d'alliage	Nuance magnétique	Constituants du matériau ¹⁾ %	Induction à saturation ²⁾ T	Coercitivité statique A/m	Point de Curie °C	Résistivité électrique μΩ.m	Densité 10 ³ kg/m ³
E11	- 60 - 100	75 - 81 Ni	0,75	3 2	400	0,55	8,7
E31	- 04 ³⁾ - 06 - 10	45 - 49 Ni	1,45	20 12 8	470	0,45	8,25
E41	- 02 - 03	35 - 40 Ni	1,2	40 24	260	0,75	8,15
C21	- 09	2 - 4,5 Si	1,65	40	750	0,45	7,65
C22	- 13	2,5 - 3,5 Si	1,9	20	750	0,45	7,65

NOTES

¹⁾ Selon la CEI 404-8-8

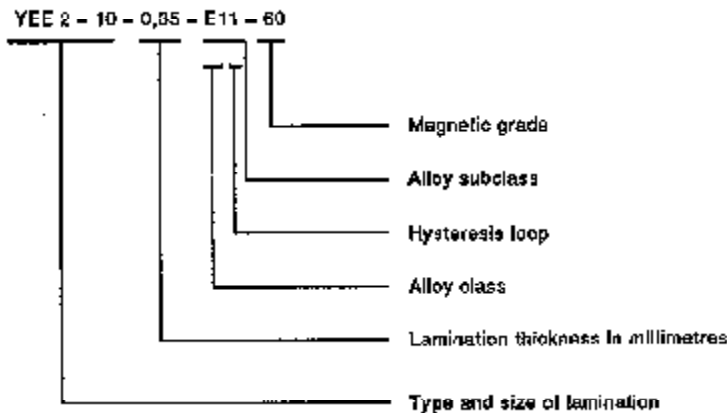
²⁾ Pour H = 4 000 A/m

³⁾ Cette nuance est spécifiée dans l'amendement 1 de la CEI 404-8-8.

4 Extended designation of laminations

When it is necessary to specify laminations not only in size, shape and thickness but also in performance, therefore utilizing a specific alloy, it is necessary to extend the designation given in clause 6 of IEC 740.

The extended designation code is compiled as in the following example:



5 General physical properties

Typical values for some of the main physical properties of materials of which laminations covered by this standard are made, are given in table 1.

Table 1 – Typical values of magnetic, electrical and thermal properties

Alloy subclass	Magnetic grade	Material constituents ¹⁾ %	Saturation flux density ²⁾ T	Static coercivity A/m	Curie temperature °C	Electrical resistivity $\mu\Omega\cdot m$	Density 10^3 kg/m^3
E11	- 80 - 100	75 - 81 Ni	0,75	3 2	400	0,55	8,7
E31	- 04 ³⁾ - 06 - 10	45 - 49 Ni	1,45	20 12 6	470	0,45	8,25
E41	- 02 - 03	36 - 40 Ni	1,2	40 24	250	0,75	8,16
C21	- 09	2 - 4,5 Si	1,65	40	750	0,46	7,65
C22	- 13	2,5 - 3,5 Si	1,9	20	750	0,45	7,65

NOTES

¹⁾ According to IEC 404-B-6

²⁾ At $H = 4\,000 \text{ A/m}$

³⁾ This magnetic grade is specified in Amendment 1 to IEC 404-B-6.

6 Exigences de perméabilité pour le matériau des tôles découpées

Les perméabilités minimales μ_{mat} (min) pour le matériau des tôles en feuilles et bandes doivent être conformes aux valeurs indiquées dans le tableau 2.

NOTE - Les données sont extraites du tableau II de la CEI 404-8-6.

Tableau 2 – Exigences minimales pour la perméabilité des feuilles et bandes

Sous-classe d'alliage	Nuance magnétique	Point de mesure H (A/m)	Perméabilité minimale du matériau, μ_{mat} (min) $1/10^6$			
			Épaisseur en mm			
			0,30 à 0,38	0,16 à 0,20	0,10	0,06
E11	- 60	0,4	40	40	35	30
	- 100		50	60	60	50
E31	- 04 ²⁾	0,4	4	4	4	4
	- 06		6	6	6	6
	- 10		10	10	8	8
E41	- 02	1,6	2,2	2,2	2,2	2,2
	- 08		2,9	2,9	2,9	2,5
C21	- 09	1,6	0,9	0,76	-	-
C22	- 13		1,3	-	-	-

NOTES

¹⁾ μ_{mat} qui est une «perméabilité du matériau» dépend de l'amplitude du champ pour la mesure et de l'épaisseur du matériau. Elle est déterminée en utilisant comme éprouvettes des rondelles laminées à 60 Hz ou 60 Hz comme indiqué dans l'article 5 de la CEI 404-8-6.

²⁾ Voir note 3 du tableau 1.

7 Exigences de perméabilité pour les tôles découpées

7.1 Perméabilité minimale des tôles découpées, μ_{lam} (min)

Toutes les combinaisons possibles de types et de gammes de tôles découpées définies dans la CEI 740, associées aux sous-classes d'alliages et nuances magnétiques indiquées au tableau 2 de la présente norme sont représentées dans le tableau 3 sous forme de cases. Les croix placées dans ces cases indiquent les combinaisons d'usage général.

Les perméabilités minimales μ_{lam} (min) des tôles découpées pour les combinaisons indiquées par une croix dans le tableau 3 doivent être conformes aux valeurs indiquées dans les tableaux 4 à 7 inclus.

NOTE - Les valeurs calculées pour μ_{lam} (min) sont fournies pour toutes les dimensions et toutes les épaisseurs. L'utilisation du matériau le plus épais pour les plus petites dimensions ou du matériau le plus mince pour les plus grandes dimensions n'est pas recommandée; pour ces combinaisons, on peut en effet rencontrer les difficultés suivantes:

- stabilité mécanique faible;
- difficulté de fabrication;
- possibilité de déformation lors de l'assemblage;
- d'avoir $\mu_{lam} < 20 \% \mu_{mat}$.

6 Permeability requirements for the lamination material

The minimum permeabilities μ_{mat} (min) for sheet and strip shall be as given in table 2.

NOTE - This data is an abstract from table II of IEC 404-B-6

Table 2 - Minimum permeability requirements for sheet and strip

Alloy subclass	Magnetic grade	Measuring point \hat{H} (A/m)	Minimum material permeability, μ_{mat} (min) ¹⁾ /10 ⁵			
			Thickness in mm			
			0,30 to 0,38	0,15 to 0,20	0,10	0,05
E11	- 60	0,4	40	40	35	30
	- 100		60	60	60	50
ES1	- 04 ²⁾	0,4	4	4	4	4
	- 06		6	6	6	6
	- 10		10	10	6	6
E41	- 02	1,6	2,2	2,2	2,2	2,2
	- 03		2,9	2,9	2,9	2,6
C21	- 09	1,6	0,9	0,75	-	-
C22	- 13	1,6	1,3	-	-	-

NOTES

¹⁾ μ_{mat} , which is a material permeability, depends on the measuring field strength and the material thickness. It is determined using laminated-ring test pieces at 50 Hz or 60 Hz in accordance with clause 5 of IEC 404-B-6.

²⁾ See note 3 to table 1.

7 Permeability requirements for laminations

7.1 Minimum lamination permeability, μ_{lam} (min)

All the possible combinations of lamination types and ranges defined in IEC 740, with the alloy subclasses and magnetic grades given in table 2 of this standard, are shown as cells (boxes) in table 3. Crosses placed in these cells indicate the combinations that are in general use.

The minimum lamination permeabilities μ_{lam} (min) for the combinations indicated by "X" in table 3 shall be as given in tables 4 to 7 inclusive.

NOTE - The calculated values of μ_{lam} (min) are given for all sizes and thicknesses. The use of the thickest material for the smallest sizes, or the thinnest material for the largest sizes, is not recommended, since these combinations may suffer from one or more of the following difficulties:

- low mechanical stability;
- difficulty in manufacture;
- possibility of deformation on assembly;
- having $\mu_{lam} < 20 \% \mu_{mat}$.

Les perméabilités minimales des tôles découpées pour les autres combinaisons permises dans le tableau 3 doivent être calculées comme indiqué à l'article 8.

7.2 Inductance spécifique, A_L

L'inductance spécifique est un terme communément utilisé associé à μ_{lam} , car il est défini comme le quotient de l'inductance d'une bobine spécifiée, placée sur un noyau donné dans une position spécifiée, par le carré du nombre de spires, c'est-à-dire:

$$A_L = L/N^2$$

On peut montrer que A_L peut aussi s'exprimer comme suit:

$$A_L = \mu_0 \cdot \mu_{lam} (A_{Fe}/I_{Fe}) = \mu_0 \cdot \mu_{lam} / C_1$$

où

A_{Fe} , I_{Fe} et C_1 sont définis en 8.1 de la CEI 740;

μ_0 est la constante magnétique de valeur $4\pi \times 10^{-7}$ H/m \approx 12,57 nH/cm.

Lorsque A_L est exigé, on le calcule en utilisant les valeurs appropriées des paramètres effectifs et μ_{lam} .

7.3 Facteur d'accroissement de la perméabilité, δ

NOTE - Le facteur d'accroissement de la perméabilité est défini comme suit:

$$\delta_{0,4} = \frac{\mu_{1,0} - \mu_{0,4}}{\mu_{1,0} \cdot \Delta H} = 0,883 \cdot \frac{\mu_{1,0} - \mu_{0,4}}{\mu_{1,0}} \quad (\text{m/A})$$

$$\delta_0 = \frac{\mu_0 - \mu_{1,0}}{\mu_{1,0} \cdot \Delta H} = 0,166 \cdot \frac{\mu_0 - \mu_{1,0}}{\mu_{1,0}} \quad (\text{m/A})$$

où les indices indiquent la valeur du champ en A/m.

Ce facteur exprime l'accroissement de la perméabilité en présence de champs faibles, ce qui peut être important pour les noyaux en tôles laminées utilisés pour les télécommunications.

Les valeurs maximales pour δ sont spécifiées dans le tableau IV de la CEI 404-8-6 pour les matériaux E41-02, C21-09 et C22-13.

The minimum lamination permeabilities of any other combinations permitted by table 3 shall be calculated in accordance with clause 8.

7.2 Inductance factor, A_L

The inductance factor is a commonly used term related to μ_{lam} , since it is defined as the inductance of a coil of specified geometry, placed on a given core, divided by the square of the number of turns, that is:

$$A_L = L/N^2$$

It may be shown that A_L can also be expressed as:

$$A_L = \mu_0 \cdot \mu_{lam} (A_{Fe}/l_{Fe}) \approx \mu_0 \cdot \mu_{lam}/C_1$$

where

A_{Fe} , l_{Fe} and C_1 are as defined in 9.1 of IEC 740;

μ_0 is the magnetic constant having the value of $4\pi \times 10^{-7}$ H/m \approx 12,57 nH/cm.

Where A_L is required it should be calculated accordingly, using the appropriate values of the effective parameters and μ_{lam} .

7.3 Permeability rise factor, δ

NOTE - The permeability rise factor is defined as follows:

$$\delta_{n,A} = \frac{\mu_{1,8} - \mu_{0,4}}{\mu_{1,8} \cdot \Delta H} \approx 0,833 \cdot \frac{\mu_{1,8} - \mu_{0,4}}{\mu_{1,8}} \quad (\text{m/A})$$

$$\delta_g = \frac{\mu_g - \mu_{1,8}}{\mu_{1,8} \cdot \Delta H} \approx 0,156 \cdot \frac{\mu_g - \mu_{1,8}}{\mu_{1,8}} \quad (\text{m/A})$$

where the indices denote the field strength in A/m.

This factor expresses the rise of permeability at low-field strengths, which may be of importance for laminated cores in telecommunication applications.

Maximum values for δ are specified in table IV of IEC 404-8-6 for materials E41-02, C21-09 and C22-13.

Tableau 3 – Combinaisons tôles laminées – sous-classes d'alliages montrant par une croix (X) celles d'usage général

Type et gamme	Dimensions	Sous-classe d'alliage (y compris nuance magnétique)								
		E11-60	E11-100	E31-04	E31-06	E31-10	E41-02	E41-03	C21-09	C22-13
YEH1	10 à 20	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	22 à 50								X	X
YEE2 YEL2	2 à 12	X	X	X	X	X	X	X	X	X
YEH2	2 à 12									
YEF2	2 à 12									
YES2	2 à 12	X	X	X	X	X				
YED2	2 à 12	X	X	X	X	X				
YEE3 } YEL3 }	10 à 16	X	X	X	X	X				
	20 à 40								X	X
YEH3 } YEF3 }	10 à 16									
	20 à 40									
YEE4	2 à 12	X	X	X	X	X			X	X
YEF4	2 à 12									
YUH1	10 à 30	X	X	X	X	X				
	34 à 80								X	X
YM1	5 à 34	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Table 3 – Combinations of laminations and alloy subclasses showing those in general use by a cross (X)

Type and range	Size	Alloy subclasses (including magnetic grades)								
		E11-60	E11-100	E31-04	E31-06	E31-10	E41-02	E41-03	G21-09	G22-18
YEl1	10 to 20	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	22 to 50								X	X
YEE2 YEL2	2 to 12	X	X	X	X	X	X	X	X	X
YEl2	2 to 12									
YEF2	2 to 12									
YES2	2 to 12	X	X	X	X	X				
YED2	2 to 12	X	X	X	X	X				
YEE3	10 to 16	X	X	X	X	X				
YEL3	20 to 40								X	X
YEl3	10 to 16									
YEF3	20 to 40									
YEE4	2 to 12	X	X	X	X	X			X	X
YEF4	2 to 12									
YU11	10 to 30	X	X	X	X	X				
	34 to 80								X	X
YM1	5 to 34	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tableau 4 - Perméabilité des tôles découpées en sous-classe d'alliage E11 pour différentes nuances magnétiques

Désignation GE ¹⁾	Perméabilité minimale $\mu_{\text{min}}(\text{mT})/10^4$							
	E11-60 Epaisseur mm				E11-100 Epaisseur mm			
	0,8 à 0,36	0,15 à 0,2	0,1	0,05	0,8 à 0,36	0,15 à 0,2	0,1	0,05
YE11 - 10	14	18	20	20	18	25	31,5	31,5
13	16	20	22,4	22,4	20	20	35,5	35,5
14	18	22,4	22,4	22,4	22,4	28	35,5	35,5
16	20	22,4	25	22,4	26	31,5	35,5	36,6
18	22,4	26	26	22,4	25	31,6	40	36,6
20	22,4	25	25	25	28	35,5	40	40
¹⁾ YEx2 - 2	2,24	4	7,1	11,2	2,5	4	8	14
3	3,55	5,6	10	14	3,55	6,3	11,2	18
4	5	7,1	11,2	16	5	8	14	20
5	7,1	10	14	18	8	11,2	20	25
6	10	14	18	20	11,2	16	25	28
8	12,5	16	20	20	12,6	20	28	31,5
10	16	20	22,4	22,4	18	25	31,5	35,5
12	18	22,4	25	22,4	22,4	28	35,5	35,5
YES2 - 2	5,6	8	12,5	16	5,6	9	16	22,4
3	8	11,2	16	18	8	12,6	22,4	25
4	10	12,5	18	18	11,2	18	25	28
6	14	18,1	20	20	14	22,4	31,5	31,5
6	16	20	20	20	18	26	31,5	31,5
8	20	22,4	22,4	20	22,4	31,5	35,5	35,5
10	22,4	25	22,4	22,4	25	31,5	40	35,5
12	22,4	25	25	22,4	28	35,5	40	35,5
YED2 - 2	8	12,5	18	20	9	14	25	31,5
3	11,2	16	20	22,4	11,2	18	28	35,5
4	14	20	22,4	25	16	25	35,5	35,5
5	18	22,4	26	25	20	28	40	40
6	22,4	25	28	28	25	35,5	45	40
8	25	28	28	28	31,5	40	45	45
10	28	31,5	31,5	28	35,5	45	50	45
12	31,5	31,5	31,5	28	35,5	50	50	45
¹⁾ YEx3 - 10	19	20	22,4	22,4	20	20	35,5	35,5
12	20	22,4	25	22,4	22,4	31,5	40	35,5
15	22,4	26	26	26	28	35,5	40	40
YEE4 - 2	1,4	2,24	4,5	8	1,4	2,24	5	10
3	2	3,15	6,3	10	2	3,15	7,1	12,6
4	3,15	5	9	12,5	3,15	5,6	10	16
5	4,5	7,1	11,2	14	4,5	8	14	20
6	6,3	9	14	18	6,3	10	18	25
8	9	12,6	16	20	10	14	22,4	28
10	11,2	16	20	20	12	18	28	31,5
12	14	18	22,4	22,4	16	22,4	31,5	35,5
YU11 - 10	22,4	26	26	26	28	35,5	40	40
13	26	28	28	25	31,5	40	45	40
16	28	28	28	25	31,5	40	45	40
20	28	31,6	28	25	35,5	45	45	40
25	28	31,5	28	25	35,6	46	50	46
30	31,5	31,6	31,5	28	35,5	46	50	46
YM1 - 5	18	20	22,4	22,4	20	28	35,5	35,5
5a	18	22,4	25	22,4	20	28	35,5	35,5
7	22,4	25	25	25	28	35,5	40	40
7a	22,4	26	26	26	26	35,5	40	40
12	28	28	28	25	31,6	40	45	40
17	28	31,5	28	26	35,5	45	50	45
20	31,6	31,5	28	28	35,6	46	50	45
28	31,6	31,5	31,6	28	35,5	46	50	46
28	31,6	31,5	31,5	28	40	50	50	45
34	31,5	31,5	31,5	28	40	50	50	45

¹⁾ YEx désigne YEE ou YEL

Table 4 – Permeability of laminations for alloy subclass E11 having various magnetic grades

IEC designation	Minimum permeability $\mu_{lam}(\text{min})/10^3$									
	E11-60 Thickness mm				E11-100 Thickness mm					
	0,3 to 0,38	0,15 to 0,2	0,1	0,05	0,3 to 0,38	0,15 to 0,2	0,1	0,05		
YE11	- 10	14	18	20	20	18	25	31,5	31,5	
	13	18	20	22,4	22,4	20	28	35,5	35,5	
	14	18	22,4	22,4	22,4	22,4	28	35,5	35,5	
	16	20	22,4	25	22,4	25	31,5	35,5	35,5	
	18	22,4	25	25	22,4	25	31,5	40	35,5	
	20	22,4	25	25	25	28	35,5	40	40	
¹⁾ YEx2	- 2	2,24	4	7,1	11,2	2,5	4	8	14	
	3	3,55	5,6	10	14	3,55	6,3	11,2	18	
	4	5	7,1	11,2	16	5	8	14	20	
	5	7,1	10	14	18	6	11,2	20	25	
	6	10	14	18	20	11,2	16	25	28	
	8	12,5	16	20	20	12,5	20	28	31,5	
	10	16	20	22,4	22,4	16	25	31,5	35,5	
	12	18	22,4	25	22,4	22,4	28	35,5	35,5	
	YES2	- 2	5,6	8	12,5	16	6,6	9	16	22,4
		3	8	11,2	16	18	8	12,5	22,4	26
4		10	12,5	18	18	11,2	18	25	28	
5		14	18,1	20	20	14	22,4	31,5	31,5	
6		18	20	20	20	18	25	31,5	31,5	
8		20	22,4	22,4	20	22,4	31,5	35,5	35,5	
10		22,4	25	22,4	22,4	25	31,5	40	35,5	
12		22,4	26	25	22,4	28	35,5	40	35,5	
YED2		- 2	8	12,5	18	20	9	14	25	31,5
		3	11,2	16	20	22,4	11,2	18	28	35,5
	4	14	20	22,4	25	16	25	35,5	35,5	
	6	18	22,4	25	25	20	28	40	40	
	6	22,4	26	28	28	25	35,5	45	40	
	8	25	28	28	28	31,6	40	45	46	
	10	28	31,5	31,5	28	35,5	45	60	45	
	12	31,5	31,5	31,5	28	55,5	60	50	45	
	¹⁾ YEx8	- 10	18	20	22,4	22,4	20	28	35,5	35,5
		12	20	22,4	25	22,4	22,4	31,6	40	35,5
16		22,4	25	25	25	28	35,5	40	40	
YEE4	- 2	1,4	2,24	4,5	8	1,4	2,24	5	10	
	3	2	3,16	6,3	10	2	3,16	7,1	12,5	
	4	3,15	5	9	12,5	3,15	6,6	10	16	
	5	4,5	7,1	11,2	14	4,5	8	14	20	
	6	6,3	9	14	18	6,3	10	18	26	
	8	9	12,6	16	20	10	14	22,4	28	
	10	11,2	16	20	20	12	18	28	31,5	
	12	14	18	22,4	22,4	15	22,4	31,5	35,5	
	YUI1	- 10	22,4	25	26	25	28	35,5	40	40
		13	25	28	28	25	31,5	40	45	40
16		28	28	28	25	31,6	40	45	40	
20		28	31,5	28	25	35,5	45	45	40	
25		28	31,5	28	28	35,5	45	50	45	
30		31,5	31,5	31,5	28	35,5	45	50	45	
YM1	- 5	16	20	22,4	22,4	20	28	35,5	35,5	
	5a	18	22,4	25	22,4	20	28	35,5	35,5	
	7	22,4	25	25	25	28	35,5	40	40	
	7a	22,4	25	25	25	25	35,5	40	40	
	12	28	28	28	25	31,5	40	45	40	
	17	28	31,5	28	25	35,5	45	50	45	
	20	31,5	31,5	28	28	35,6	45	50	45	
	28	31,5	31,5	31,5	28	35,5	45	50	46	
	29	31,5	31,5	31,5	28	40	50	60	45	
	34	31,5	31,5	31,5	28	40	50	60	45	

¹⁾ YEx designates YEE or YEL

Tableau 5 - Perméabilité des tôles découpées en sous-classe d'alliage E31 pour différentes nuances magnétiques

Désignation CEI	Perméabilité minimale $\mu_{Lm}(\text{min}) \cdot 10^3$													
	E31-04 Epaisseur mm				E31-06 Epaisseur mm				E31-10 Epaisseur mm					
	0,3 à 0,39	0,15 à 0,2	0,1	0,05	0,3 à 0,38	0,15 à 0,2	0,1	0,05	0,3 à 0,38	0,15 à 0,2	0,1	0,05		
YEH	-10	2,8	2,8	3,15	3,16	3,55	4	4,6	5	5,6	6,3	5,6	6,3	
	13	2,8	3,15	3,15	3,55	4	4,5	5	5	6,3	7,1	6,3	6,3	
	14	2,8	3,15	3,15	3,55	4	4,5	5	5	6,3	7,1	6,3	7,1	
	16	2,8	3,15	3,15	3,55	4,5	4,5	5	5	6,3	7,1	6,3	7,1	
	18	3,15	3,15	3,55	3,55	4,5	4,5	6	6	7,1	7,1	6,3	7,1	
	20	3,15	3,15	3,55	3,55	4,5	5	5	5	7,1	7,1	6,3	7,1	
¹⁾ YEx2	-2	1,25	1,6	2,24	2,8	1,6	2	2,8	3,55	1,8	2,5	3,55	4,5	
	3	1,6	2	2,5	2,8	2	2,5	3,15	4	2,5	3,15	4	5	
	4	1,8	2,24	2,8	3,15	2,24	2,8	3,55	4,5	3,15	4	4,5	5,6	
	5	2	2,5	2,8	3,15	2,8	3,15	4	4,5	4	5	6	5,6	
	6	2,24	2,8	3,15	3,15	3,15	3,55	4,5	5	4,5	5,6	5,6	6,3	
	8	2,5	2,8	3,15	3,15	3,55	4	4,5	5	5	6,3	5,6	6,3	
YES2	-2	2	2,24	2,5	2,8	2,5	3,15	3,55	4	3,55	4,5	4,5	5	
	3	2,24	2,5	2,8	2,8	2,8	3,15	4	4	4,5	5	5,6	5,6	
	4	2,5	2,5	2,8	2,8	3,15	3,55	4	4,5	5	5,6	5	5,6	
	5	2,5	2,8	2,8	2,8	3,55	4	4	4,5	5,6	6,3	5,6	5,6	
	6	2,8	2,8	2,8	3,15	4	4	4,5	4,5	5,6	6,3	5,6	5,6	
	8	2,8	2,8	3,15	3,15	4	4	4,5	4,5	6,3	6,3	5,6	6,3	
YED2	-2	2,5	2,8	3,15	3,55	3,55	4	5	5,6	5	6,6	6,3	7,1	
	3	2,8	3,15	3,55	3,55	4	4,5	5	5,6	5,6	6,3	6,3	7,1	
	4	3,15	3,15	3,55	4	4,5	5	5	5,6	6,3	7,1	7,1	7,1	
	5	3,15	3,55	3,55	4	4,5	5	5,6	5,6	7,1	8	7,1	7,1	
	6	3,55	3,55	4	4	5	5	5,6	5,6	8	8	7,1	8	
	8	3,55	3,55	4	4	5	5,6	5,6	5,6	8	9	7,1	8	
¹⁾ YEx3	-10	2,8	3,15	3,15	3,55	4	4,5	5	5	6,3	7,1	6,3	7,1	
	12	3,15	3,15	3,55	3,55	4,5	4,5	5	5	7,1	7,1	6,3	7,1	
	16	3,15	3,15	3,55	3,55	4,5	5	5	5,6	7,1	8	7,1	7,1	
	YEE4	-2	0,8	1,25	1,8	2,5	1	1,4	2,24	3,15	1,12	1,8	2,6	4
		3	1,12	1,8	2	2,8	1,4	1,8	2,8	3,55	1,8	2,24	3,15	4,7
		4	1,4	1,8	2,5	2,8	1,8	2,6	3,14	4	2,24	3,15	4	6
5		1,8	2,24	2,8	3,15	2,24	2,8	3,55	4,5	2,8	4	4,5	5,6	
6		2	2,5	2,8	3,15	2,8	3,15	4	4,5	3,55	4,5	5	5,6	
8		2,5	2,8	3,15	3,15	3,15	3,55	4,5	5	4,5	5,6	5,6	6,3	
YUH	-10	3,15	3,15	3,55	3,55	4,5	5	5	6	7,1	7,1	6,3	7,1	
	13	3,15	3,55	3,55	3,55	5	5	5	5,6	7,1	8	7,1	7,1	
	16	3,15	3,55	3,55	3,55	5	5	5,6	5,6	8	8	7,1	7,1	
	20	3,55	3,55	3,55	3,55	5	5,6	5,6	5,6	8	8	7,1	7,1	
	25	3,55	3,55	3,55	3,55	5	5,6	5,6	5,6	8	9	7,1	7,1	
	30	3,55	3,55	3,55	3,55	5	5,6	5,6	5,6	9	9	7,1	7,1	
YM1	-5	2,8	3,15	3,15	3,55	4	4,5	5	5	6,3	7,1	6,3	7,1	
	6a	3,15	3,15	3,55	3,55	4,5	4,5	5	5	6,3	7,1	6,3	7,1	
	7	3,15	3,15	3,55	3,55	4,5	5	5	5,6	7,1	8	7,1	7,1	
	7a	3,15	3,15	3,55	3,55	4,5	5	5	5,6	7,1	8	7,1	7,1	
	12	3,15	3,55	3,55	3,55	5	5	5,6	5,6	8	8	7,1	7,1	
	17	3,55	3,55	3,55	3,55	5	5	5,6	5,6	8	8	7,1	7,1	
	20	3,55	3,55	3,55	3,55	5	5,6	5,6	5,6	8	9	7,1	7,1	
	23	3,55	3,55	3,55	3,55	5	5,6	5,6	5,6	9	9	7,1	7,1	
	29	3,55	3,55	3,55	3,55	5,6	5,6	5,6	5,6	9	9	7,1	7,1	
	34	3,55	3,55	3,55	3,55	5,6	5,6	5,6	5,6	9	9	7,1	7,1	

¹⁾ YEx désigne YEE ou YEL

Table 5 – Permeability of laminations for alloy subclass E31 having various magnetic grades

IEC designation	Minimum permeability μ_{min} (min) $\times 10^4$											
	E31-04 Thickness mm				E31-06 Thickness mm				E31-10 Thickness mm			
	0,3 to 0,38	0,15 to 0,2	0,1	0,05	0,3 to 0,28	0,15 to 0,2	0,1	0,05	0,8 to 0,38	0,15 to 0,2	0,1	0,05
YEl1	- 10	2,8	2,8	3,15	3,15	3,55	4	4,5	5	5,6	6,3	6,3
	13	2,8	3,15	3,15	3,55	4	4,5	5	5	6,3	7,1	6,3
	14	2,8	3,15	3,15	3,55	4	4,5	5	6	6,3	7,1	6,3
	16	2,8	3,15	3,15	3,55	4,5	4,5	5	5	6,3	7,1	6,3
	18	3,15	3,15	3,55	3,55	4,5	4,5	5	5	7,1	7,1	6,3
20	3,15	3,15	3,55	3,55	4,5	5	5	5	7,1	7,1	6,3	
YEx2	- 2	1,25	1,6	2,24	2,6	1,6	2	2,6	3,55	1,8	2,5	3,55
	3	1,6	2	2,5	2,8	2	2,5	3,15	4	2,5	3,15	4
	4	1,8	2,24	2,8	3,15	2,24	2,8	3,55	4,5	3,15	4	4,5
	5	2	2,5	2,8	3,15	2,8	3,15	4	4,5	4	5	5
	6	2,24	2,8	3,15	3,15	3,15	3,55	4,5	5	4,5	5,6	5,6
	8	2,5	2,8	3,15	3,15	3,55	4	4,5	5	5	6,3	6,3
	10	2,8	3,15	3,15	3,55	4	4,5	5	5	6,3	6,3	6,3
12	2,8	3,15	3,15	3,55	4,5	4,5	5	5	6,3	7,1	6,3	
YES2	- 2	2	2,24	2,5	2,8	2,5	3,15	3,55	4	3,55	4,5	4,5
	3	2,24	2,5	2,8	2,8	2,8	3,15	4	4	4,5	5	5,6
	4	2,5	2,5	2,8	2,8	3,15	3,55	4	4,5	6	6,3	5,6
	5	2,5	2,8	2,8	2,8	3,55	4	4	4,5	5,6	6,3	5,6
	6	2,8	2,8	2,8	3,15	4	4	4,5	4,5	6,3	6,3	5,6
	8	2,8	2,8	3,15	3,15	4	4	4,5	4,5	6,3	6,3	6,3
	10	2,8	2,8	3,15	3,15	4	4,5	4,5	4,5	6,3	7,1	6,3
12	2,8	3,15	3,15	3,15	4,5	4,5	4,5	4,5	7,1	7,1	6,3	
YED2	- 2	2,5	2,8	3,15	3,55	3,55	4	5	5,6	5	5,6	6,3
	3	2,8	3,15	3,55	3,55	4	4,5	5	5,6	5,6	6,3	6,3
	4	3,15	3,15	3,55	4	4,5	5	5	5,6	6,3	7,1	7,1
	5	3,15	3,55	3,55	4	4,5	5	5,6	6,3	7,1	8	7,1
	6	3,55	3,55	4	4	5	5	5,6	6,3	8	8	7,1
	8	3,55	3,55	4	4	5	5,6	5,6	5,6	8	8	7,1
	10	3,55	4	4	4	5,6	5,6	5,6	5,6	9	9	8
12	4	4	4	4	5,6	5,6	5,6	6,3	9	9	8	
YEx3	- 10	2,8	3,15	3,15	3,55	4	4,5	5	5	6,3	7,1	6,3
	12	3,15	3,15	3,55	3,55	4,5	4,5	5	6	7,1	7,1	6,3
	16	3,15	3,15	3,55	3,55	4,5	5	5	6	7,1	8	7,1
YEE4	- 2	0,8	1,25	1,8	2,5	1	1,4	2,24	3,15	1,12	1,8	2,8
	3	1,12	1,6	2	2,8	1,4	1,8	2,8	3,55	1,6	2,24	3,15
	4	1,4	1,8	2,5	2,8	1,8	2,5	3,14	4	2,24	3,15	4
	5	1,8	2,24	2,8	3,15	2,24	2,8	3,55	4,5	2,8	4	4,5
	6	2	2,5	2,8	3,15	2,8	3,15	4	4,5	3,55	4,5	5
	8	2,5	2,8	3,15	3,15	3,15	3,55	4,5	5	4,5	5,6	5,6
	10	2,8	2,8	3,15	3,15	3,55	4	4,5	5	6	6,3	5,6
12	2,8	3,15	3,15	3,55	4	4,5	5	5	6,3	6,3	6,3	
YUI1	- 10	3,15	3,15	3,55	3,55	4,5	5	5	5	7,1	7,1	6,3
	12	3,15	3,55	3,55	3,55	5	5	5	5,6	7,1	8	7,1
	16	3,15	3,55	3,55	3,55	5	5	5,6	5,6	8	8	7,1
	20	3,55	3,55	3,55	3,55	5	5,6	5,6	5,6	8	8	7,1
	25	3,55	3,55	3,55	3,55	5	5,6	5,6	5,6	8	9	7,1
30	3,55	3,55	3,55	3,55	5	5,6	5,6	5,6	9	9	7,1	
YM1	- 5	2,8	3,15	3,15	3,55	4	4,5	5	5	6,3	7,1	6,3
	5a	3,15	3,15	3,55	3,55	4,5	4,5	5	5	6,3	7,1	6,3
	7	3,15	3,15	3,55	3,55	4,5	5	5	5,6	7,1	8	7,1
	7a	3,15	3,15	3,55	3,55	4,5	5	5	6,6	7,1	8	7,1
	12	3,15	3,55	3,55	3,55	5	5	5,6	5,6	8	8	7,1
	17	3,55	3,55	3,55	3,55	5	5	5,6	5,6	8	8	7,1
	20	3,55	3,55	3,55	3,55	5	5,6	5,6	5,6	8	9	7,1
	23	3,55	3,55	3,55	3,55	5	5,6	5,6	5,6	8	9	7,1
	29	3,55	3,55	3,55	3,55	5,6	5,6	5,6	5,6	8	9	7,1
	34	3,55	3,55	3,55	3,55	5,6	5,6	5,6	5,6	9	9	7,1

1) YEX designates YEE or YEL

Tableau 6 - Perméabilité des tôles découpées en sous-classe d'alliage E41 pour différentes nuances magnétiques

Désignation CEI	Perméabilité minimale μ_{10m} (min)/ 10^3								
	E41-02 Épaisseur mm				E41-03 Épaisseur mm				
	0,3 à 0,36	0,15 à 0,2	0,1	0,05	0,3 à 0,36	0,16 à 0,2	0,1	0,05	
YEl1	- 10	1,6	1,8	1,8	2	2	2,24	2,5	2,24
	18	1,8	1,8	2	2	2,24	2,24	2,5	2,24
	14	1,8	1,8	2	2	2,24	2,24	2,5	2,24
	16	1,8	1,8	2	2	2,24	2,5	2,5	2,24
	18	1,8	1,8	2	2	2,24	2,5	2,5	2,24
	20	1,8	2	2	2	2,24	2,5	2,5	2,24
YEx2	- 2	1	1	1,4	1,6	1	1,4	1,8	1,8
	3	1,25	1,25	1,6	1,8	1,25	1,6	2	2
	¹⁾ 4	1,4	1,4	1,6	1,8	1,4	1,8	2	2
	5	1,6	1,6	1,8	1,8	1,8	2	2,24	2
	6	1,6	1,6	1,8	2	2	2	2,24	2
	8	1,8	1,8	1,8	2	2	2,24	2,5	2,24
	10	1,8	1,8	2	2	2	2,24	2,5	2,24
	12	1,8	1,8	2	2	2,24	2,5	2,5	2,24
YM1	- 5	1,8	1,8	2	2	2,24	2,5	2,5	2,24
	5a	1,8	1,8	2	2	2,24	2,5	2,5	2,24
	7	1,8	2	2	2	2,5	2,5	2,5	2,24
	7a	1,8	2	2	2	2,5	2,5	2,5	2,24
	12	2	2	2	2	2,5	2,5	2,5	2,24
	17	2	2	2	2	2,5	2,5	2,5	2,24
	20	2	2	2	2	2,5	2,5	2,5	2,5
	23	2	2	2	2	2,5	2,8	2,8	2,5
	29	2	2	2	2	2,5	2,8	2,8	2,5
	34	2	2	2	2	2,8	2,8	2,8	2,5

¹⁾ YEx désigne YEE ou YEL

Table 6 - Permeability of laminations for alloy subclass E41 having various magnetic grades

IEC designation	Minimum permeability $\mu_{\text{min}}(\text{min})/10^3$								
	E41-02 Thickness mm				E41-03 Thickness mm				
	0,3 to 0,38	0,15 to 0,2	0,1	0,05	0,3 to 0,38	0,15 to 0,2	0,1	0,05	
YE11	- 10	1,6	1,8	1,8	2	2	2,24	2,5	2,24
	13	1,8	1,8	2	2	2,24	2,24	2,5	2,24
	14	1,8	1,8	2	2	2,24	2,24	2,5	2,24
	16	1,8	1,8	2	2	2,24	2,5	2,5	2,24
	18	1,8	1,8	2	2	2,24	2,5	2,5	2,24
	20	1,8	2	2	2	2,24	2,5	2,5	2,24
YEx2	- 2	1	1	1,4	1,8	1	1,4	1,8	1,8
	3	1,25	1,25	1,6	1,8	1,25	1,8	2	2
	¹⁾ 4	1,4	1,4	1,6	1,8	1,4	1,8	2	2
	5	1,8	1,6	1,8	1,8	1,8	2	2,24	2
	6	1,6	1,6	1,8	2	2	2	2,24	2
	8	1,6	1,8	1,8	2	2	2,24	2,5	2,24
	10	1,6	1,8	2	2	2	2,24	2,5	2,24
	12	1,8	1,8	2	2	2,24	2,5	2,5	2,24
YM1	- 5	1,8	1,8	2	2	2,24	2,5	2,5	2,24
	5a	1,8	1,8	2	2	2,24	2,5	2,5	2,24
	7	1,8	2	2	2	2,5	2,5	2,5	2,24
	7a	1,8	2	2	2	2,5	2,5	2,5	2,24
	12	2	2	2	2	2,5	2,5	2,8	2,24
	17	2	2	2	2	2,5	2,5	2,8	2,24
	20	2	2	2	2	2,5	2,8	2,8	2,5
	23	2	2	2	2	2,5	2,8	2,8	2,5
	29	2	2	2	2	2,5	2,8	2,8	2,5
	34	2	2	2	2	2,8	2,8	2,8	2,5

¹⁾ YEx designates YEE or YEL

Tableau 7 - Perméabilité des tôles découpées en sous-classe d'alliage C21 et C22

Désignation CEI	Perméabilité minimale μ_{10m} (mIn)/10 ³		
	C21-09 Épaisseur mm		C22-13 Épaisseur mm
	0,3 à 0,38	0,16 à 0,2	0,3 à 0,38
YEl1 - 10	0,63	0,63	1
	0,8	0,63	1
	0,8	0,63	1
	0,8	0,63	1
	0,8	0,63	1
	0,8	0,63	1,12
	0,8	0,63	1,12
	0,8	0,63	1,12
	0,8	0,63	1,12
	0,8	0,63	1,12
	0,8	0,63	1,12
	0,8	0,63	1,12
¹⁾ YEx2 - 2	0,5	0,5	0,63
	0,56	0,56	0,8
	0,56	0,56	0,8
	0,63	0,63	0,8
	0,63	0,56	1
	0,63	0,63	1
	0,8	0,63	1
	0,8	0,63	1
¹⁾ YEx3 - 20	0,8	0,63	1,12
	0,9	0,63	1,12
	0,9	0,63	1,12
	0,9	0,63	1,12
YEE4	0,4	0,5	0,5
	0,5	0,5	0,56
	0,56	0,56	0,8
	0,56	0,56	0,8
	0,63	0,56	0,9
	0,63	0,56	1
	0,8	0,63	1
	0,8	0,63	1
YU11 - 34	0,9	0,63	1,25
	0,9	0,63	1,25
	0,9	0,63	1,25
	0,9	0,63	1,25
	0,9	0,63	1,25
	0,9	0,63	1,25
	0,9	0,63	1,25
	0,9	0,63	1,25
YM1 - 5	0,8	0,63	1
	0,8	0,63	1
	0,8	0,63	1,12
	0,8	0,63	1,12
	0,8	0,63	1,12
	0,9	0,63	1,12
	0,9	0,63	1,12
	0,9	0,63	1,12
	0,9	0,63	1,25
	0,9	0,63	1,25

¹⁾ YEx désigne YEE ou YEL

Table 7 - Permeability of laminations for alloy subclasses C21 and C22

IEC designation	Minimum permeability $\mu_{lam}(\text{min})/10^3$		
	C21-09 Thickness mm		C22-19 Thickness mm
	0,3 to 0,38	0,15 to 0,2	0,3 to 0,38
YE11 - 10	0,63	0,63	1
	0,8	0,63	1
	0,8	0,63	1
	0,8	0,63	1
	0,8	0,63	1
	0,8	0,63	1,12
	0,8	0,63	1,12
	0,8	0,63	1,12
	0,8	0,83	1,12
	0,8	0,83	1,12
	0,9	0,63	1,12
¹⁾ YEx2 - 2	0,5	0,5	0,63
	0,56	0,56	0,8
	0,56	0,56	0,8
	0,63	0,56	0,9
	0,63	0,56	1
	0,63	0,63	1
	0,8	0,63	1
¹⁾ YEx3 - 20	0,8	0,63	1,12
	0,9	0,63	1,12
	0,9	0,63	1,12
	0,9	0,63	1,12
YEE4	0,4	0,5	0,5
	0,5	0,5	0,56
	0,56	0,56	0,8
	0,56	0,56	0,8
	0,63	0,56	0,9
	0,63	0,56	1
	0,8	0,63	1
YU11 - 34	0,9	0,63	1,25
	0,9	0,63	1,25
	0,9	0,63	1,25
	0,9	0,63	1,25
	0,9	0,63	1,25
	0,9	0,63	1,25
	0,9	0,63	1,25
YM1 - 6	0,8	0,63	1
	0,8	0,63	1
	0,8	0,66	1,12
	0,8	0,63	1,12
	0,8	0,63	1,12
	0,8	0,63	1,12
	0,9	0,63	1,12
	0,9	0,63	1,12
	0,9	0,63	1,25
	0,9	0,63	1,25

¹⁾ YEx designates YEE or YEL

8 Calcul de la perméabilité des tôles découpées, μ_{lam}

8.1 Généralités

La perméabilité d'un noyau en tôles découpées (μ_{lam}) est fonction de la perméabilité du matériau utilisé (μ_{mat}) et d'un facteur dépendant des paramètres dimensionnels du circuit magnétique, ce circuit tenant compte du chemin parcouru par le flux magnétique qui, pour éviter les joints ou entrefers du noyau, traverse les couches adjacentes.

Afin de simplifier les calculs, la procédure donnée en 8.3 a été appliquée pour déterminer les valeurs fournies dans les tableaux 4 à 7; cette procédure doit être utilisée pour spécifier la valeur de μ_{lam} pour toute autre combinaison tôles découpées/alliage entrant dans le domaine d'application de cette norme. La procédure suppose que les matériaux sont non-orientés (isotropes) et que les perméabilités sont «indépendantes du champ» tel que décrit dans [1]*.

Des calculs plus précis, prenant en considération la dépendance du champ, sont donnés dans le document cité en [2]*; la comparaison des deux méthodes montre que les différences constatées n'ont pas de portée pratique.

Le document cité en [3]* couvre le cas des matériaux orientés (anisotropes).

8.2 Principe du calcul

Afin de déterminer le facteur qui lie μ_{lam} à μ_{mat} , on introduit par commodité de nouveaux paramètres dérivés qui sont:

- Les longueurs de recouvrement λ_1 et λ_2 , correspondant aux longueurs partielles des circuits du flux magnétique dans le noyau, déterminées par les joints intervenant verticalement dans l'empilement. Ces longueurs sont illustrées dans les figures 1 à 7.
- Le paramètre distance d'empilement l_1 , qui correspond approximativement au facteur de foisonnement mais qui prend en compte empiriquement la dégradation due à la coupe, à la pression appliquée pour l'empilement, etc. Les valeurs de l_1 pour diverses épaisseurs t de tôles découpées sont données dans le tableau 8.

Tableau 8 – Paramètre distance d'empilement l_1

Epaisseur de l'empilement t	mm	mm	mm
	0,15 à 0,35	0,1	0,05
Paramètre distance d'empilement l_1	0,03	0,025	0,02

- La longueur de cisaillement a , définie par l'équation suivante:

$$a = \sqrt{l_1 \cdot t \cdot \mu_{mat}}$$

* Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie donnée dans l'annexe A.

8 Calculation of lamination permeability, μ_{lam}

8.1 General

The permeability of a laminated core (lamination permeability μ_{lam}) depends upon the material permeability, μ_{mat} , and a factor depending on the dimensional parameters of the magnetic circuit, which takes into account the way in which magnetic flux avoids the joints or gaps in such cores by passing over into adjacent layers.

In order to simplify the calculations, the procedure given in 8.3 has been adopted in deriving the values given in tables 4 to 7, and this procedure shall be used for specifying the value of μ_{lam} for any other lamination/alloy combination covered by this standard. It assumes that the materials are non-oriented (isotropic) and that the permeabilities are field-strength-independent as stated in [1]*.

More accurate calculations taking into account field strength dependency are considered in [2]*; comparison of the two methods indicates that the differences involved in the results obtained is not of practical importance.

The case of oriented (anisotropic) materials is covered in [3]*.

8.2 Principle of the calculation

In order to determine the factor which relates μ_{lam} to μ_{mat} , it is convenient to introduce a number of new and derived parameters. These are:

- a) Overlapping lengths, λ_1 and λ_2 , which are the partial lengths of the loops of magnetic flux in the core determined by the joints occurring vertically in the stack. These are illustrated in figures 1 to 7.
- b) Lamination distance parameter l_1 which correlates loosely to the stacking (lamination) factor, but empirically takes into account the degradation caused by cutting edges, pressure applied to a lamination stack, etc. The values of l_1 for various lamination thicknesses, t , are given in table 8.

Table 8 – Lamination distance parameter l_1

	mm	mm	mm
Lamination thickness t	0,15 to 0,35	0,1	0,05
Distance parameter l_1	0,03	0,025	0,02

- c) Shearing length a , defined by the following equation:

$$a = \sqrt{l_1 \cdot t \cdot \mu_{mat}}$$

* Figures between square brackets refer to the bibliography given in annex A.

8.3 Procédure

La valeur minimale de la perméabilité relative des tôles découpées doit être déduite comme indiqué ci-après:

a) Calculer la perméabilité des tôles découpées selon le type à partir de l'une des équations ci-après:

1) Types YEI, YEL, YUI et similaires à empiement en deux parties se recouvrant (voir figures 1, 2 et 6):

$$\mu_{lam} = \mu_{mat} \cdot I_{Fe} / \left(I_{Fe} + 2a \left(\coth \frac{\lambda_1}{a} + \tanh \frac{\lambda_2}{a} \right) \right)$$

2) Type YM et similaires à empiement en une seule partie se recouvrant (voir figure 7):

$$\mu_{lam} = \mu_{mat} \cdot I_{Fe} / \left(I_{Fe} + a \left(\coth \frac{\lambda_1}{a} + \coth \frac{\lambda_2}{a} \right) \right)$$

3) Type YEF à empiement en deux parties se recouvrant (voir figures 3 et 4).

NOTE - Les tôles découpées YEF ont deux parties en forme de F identiques. En conséquence, outre les longueurs de recouvrement dans les jambes latérales, le joint abouté de la jambe centrale doit être pris en considération. Cette complication fait qu'aucune formule simple ne peut être donnée. Les valeurs de μ_{lam} pour ces types de tôles ne sont donc pas spécifiées.

4) Type YED et similaires à empiement en une seule partie se recouvrant (voir figure 5):

$$\mu_{lam} = \mu_{mat} \cdot I_{Fe} / \left(I_{Fe} - b' + a \frac{N}{D} \right)$$

où

$$N = 2 - \tanh \frac{\lambda_1}{a} \cdot \tanh \frac{b'}{a} - \tanh^2 \frac{b'}{a}$$

$$D = \tanh \frac{\lambda_1}{a} + \tanh \frac{b'}{a} - 2 \tanh \frac{\lambda_1}{a} \cdot \tanh^2 \frac{b'}{a}$$

et

$$b' = \frac{d}{2}$$

où

d est la largeur de la jambe centrale; les valeurs de b' sont données dans le tableau 9.

5) Type YES et similaires à empiement en une seule partie se recouvrant (voir figure 4 par analogie):

$$\mu_{lam} = \mu_{mat} \cdot I_{Fe} / \left(I_{Fe} + 2\lambda_2 + 2a \cdot \coth \frac{\lambda_1}{a} \right)$$

Les valeurs pour μ_{mat} sont prises dans le tableau 2, celles pour I_{Fe} , λ_1 et λ_2 sont données dans le tableau 9. La valeur de a est calculée comme indiqué en 8.2 c).

8.3 Procedure

The minimum value of the relative lamination permeability shall be derived as follows:

a) Calculate the lamination permeability from one of the following equations, as appropriate:

1) Lamination types YEI; YEL; YUI and similar types for two-part overlapping stacking (see figures 1, 2 and 6):

$$\mu_{\text{lam}} = \mu_{\text{mat}} \cdot I_{\text{Fe}}' \left(I_{\text{Fe}} + 2a \left(\coth \frac{\lambda_1}{a} + \tanh \frac{\lambda_2}{a} \right) \right)$$

2) Lamination type YM and similar types for single-part overlapping stacking (see figure 7):

$$\mu_{\text{lam}} = \mu_{\text{mat}} \cdot I_{\text{Fe}}' \left(I_{\text{Fe}} + a \left(\coth \frac{\lambda_1}{a} + \coth \frac{\lambda_2}{a} \right) \right)$$

3) Lamination type YEF for two part-overlapping stacking (see figures 3 and 4).

NOTE: The YEF laminations have two identical F shapes. Therefore, as well as the overlapping lengths in the outer limbs, an additional butt joint has to be taken into account in the middle limb. Because of this complication, no simple formula for μ_{lam} can be quoted and values of μ_{lam} for these lamination types are not specified.

4) Lamination type YED and similar types for single-part overlapping stacking (see figure 5):

$$\mu_{\text{lam}} = \mu_{\text{mat}} \cdot I_{\text{Fe}}' \left(I_{\text{Fe}} - b' + a \frac{N}{D} \right)$$

where

$$N = 2 - \tanh \frac{\lambda_1}{a} \cdot \tanh \frac{b'}{a} - \tanh^2 \frac{b'}{a}$$

$$D = \tanh \frac{\lambda_1}{a} - \tanh \frac{b'}{a} - 2 \tanh \frac{\lambda_1}{a} \cdot \tanh^2 \frac{b'}{a}$$

and

$$b' = \frac{d}{2}$$

where

d is the width of the centre limb of the lamination; values of b' are given in table 9.

5) Lamination type YES and similar types for single-part overlapping stacking (analogously to figure 4):

$$\mu_{\text{lam}} = \mu_{\text{mat}} \cdot I_{\text{Fe}}' \left(I_{\text{Fe}} + 2\lambda_2 + 2a \cdot \coth \frac{\lambda_1}{a} \right)$$

The values for μ_{mat} are taken from table 2 and those for I_{Fe}' , λ_1 and λ_2 are given in table 9. The value of a is calculated in accordance with its definition in 8.2 c).

Tableau 9 - Valeurs des paramètres longueur nécessaires pour calculer μ_{lam}

Désignation CEI	t_{Fo} mm	λ_1 mm	λ_2 mm	b' mm	
YEl1	- 10	80	15	15	
	13	77	19,2	19,2	
	14	84	21	21	
	16	96	24	24	
	18	108	27	27	
	20	120	30	30	
	22	132	33	33	
	25	150	37,5	37,5	
	28	168	42	42	
	32	192	48	48	
	36	216	54	54	
40	240	60	60		
50	300	75	75		
YEl2	- 2	19,2	5,6	4	
	3	24	7	5	
	4	30,2	8,8	6,3	
	5	38,4	11,2	8	
	6	48	14	10	
	8	59,8	17,4	12,5	
	10	76,8	22,4	16	
	12	96	28	20	
	YEx2	- 2	19,2	3	6,3
		3	24	4	8
		4	30,2	4,8	10,5
5		38,4	6	13,2	
6		48	8	16	
8		59,8	9	20,9	
10		76,8	12	26,4	
12		96	16	32	
YEs2		- 2	19,2	8	1,6
		3	24	10	2
		4	30,2	12,6	2,5
	5	38,4	16	3,2	
	6	48	20	4	
	8	59,8	25	4,9	
	10	76,8	32	6,4	
	12	96	40	8	
	YEF2	- 2	19,2	5,6	6,8
		3	24	7	8,5
		4	30,2	8,8	10,7
5		38,4	11,2	13,6	
6		48	14	17	
8		59,8	17,4	21,2	
10		76,8	22,4	27,2	
12		96	28	34	
YED2		- 2	22,2	9,7	1,4
		3	27	11,5	2
		4	34,6	14,9	2,4
	5	43,4	18,5	3,2	
	6	54	23	4	
	8	67,8	29,1	4,8	
	10	86,8	37,1	6,3	
	12	108	46	8	
	YEl3	- 10	80	25	20
		12	108	30	24
		16	144	40	32
20		180	50	40	
25		225	62,5	50	
32		288	80	64	
40		360	100	80	
† YEx désigne YEE ou YEL					

(suite à la page 32)

Table 9 – Values of length parameters required to calculate μ_{lam}

IEC designation	t_{Fa} mm	λ_1 mm	λ_2 mm	δ' mm
YE11	- 10	60	15	15
	13	77	19,2	19,2
	14	84	21	21
	16	96	24	24
	18	108	27	27
	20	120	30	30
	22	132	33	33
	25	150	37,5	37,5
	28	168	42	42
	32	192	48	48
	40	240	60	60
50	300	75	75	
YE12	- 2	19,2	5,6	4
	3	24	7	5
	4	30,2	8,8	6,8
	5	38,4	11,2	8
	6	48	14	10
	8	59,8	17,4	12,5
	10	76,8	22,4	16
	12	96	28	20
¹⁾ YEx2	- 2	19,2	8	8,3
	3	24	4	8
	4	30,2	4,6	10,5
	5	38,4	6	13,2
	6	48	8	16
	8	59,8	9	20,9
	10	76,8	12	26,4
	12	96	16	32
YES2	- 2	19,2	8	1,6
	3	24	10	2
	4	30,2	12,6	2,5
	5	38,4	16	3,2
	6	48	20	4
	8	59,8	25	4,9
	10	76,8	32	6,4
	12	96	40	8
YEF2	- 2	19,2	5,6	6,8
	3	24	7	6,5
	4	30,2	8,8	10,7
	5	38,4	11,2	13,6
	6	48	14	17
	8	59,8	17,4	21,2
	10	76,8	22,4	27,2
	12	96	28	34
YED2	- 2	22,2	9,7	1,4
	3	27	11,6	2
	4	34,8	14,9	2,4
	5	43,4	18,5	3,2
	6	54	23	4
	8	67,8	29,1	4,9
	10	85,8	37,1	6,3
	12	109	46	8
YEL8	- 10	90	26	20
	12	108	30	24
	16	144	40	32
	20	180	50	40
	25	225	62,5	50
	32	288	80	64
40	360	100	80	

¹⁾ YEx designates YEE or YEL

(continued on page 33)

Tableau 9 (fin)

Désignation CEI	l_{F_0} mm	λ_1 mm	λ_2 mm	b' mm
YEx2	- 10	90	15	30
	12	108	18	36
	16	144	24	48
	20	180	30	60
	25	226	37,5	75
	32	288	48	96
	40	360	60	120
YEF3	- 10	90	25	52,5
	12	108	30	59
	16	144	40	82
	20	180	50	95
	25	226	62,5	117,5
	32	288	80	144
	40	360	100	180
YEE4	- 2	15,2	2	6,6
	3	19,75	2,4	7,5
	4	25	3,2	9,3
	5	31,2	4	11,6
	6	39	5	14,5
	8	49,4	6,4	18,3
	10	62,4	8	23,2
YEF4	- 2	15,2	2	6,6
	3	19,8	2,4	8,7
	4	25	3,2	10,9
	5	31,2	4	13,6
	6	39	5	17
	8	49,4	6,4	21,5
	10	62,4	8	27,2
YEl1	- 10	120	30	30
	12	144	36	36
	16	192	48	48
	20	240	60	60
	25	300	75	75
	30	360	90	90
	36	408	102	102
	44	456	114	114
	52	528	132	132
	60	600	150	150
	68	672	168	168
	80	720	180	180
	90	840	210	210
100	960	240	240	
YMF	- 6	47	13	34
	5a	51	15	36
	7	71,5	20	51,5
	7a	69,5	20	49,5
	12	102	30	72
	17	131	38	93
	20	155	45	110
	28	176	51	125
34	197	56	141	
40	238	68	170	

1) YEx désigne YEE ou YEL

Table 9 (concluded)

IEC designation	l_{F0} mm	λ_1 mm	λ_2 mm	b' mm
¹⁾ YEx3 - 10	90	16	30	
12	108	18	36	
16	144	24	48	
20	180	30	60	
25	225	37,5	75	
32	288	48	96	
40	360	60	120	
YEF3 - 10	90	25	32,5	
12	108	30	39	
16	144	40	52	
20	180	50	65	
25	225	62,5	81,25	
32	288	80	104	
40	360	100	130	
YEE4 - 2	15,2	2	5,6	
3	19,75	2,4	7,6	
4	25	3,2	9,3	
5	31,2	4	11,6	
6	38	5	14,5	
8	49,4	6,4	18,3	
10	62,4	8	23,2	
12	78	10	29	
YEF4 - 2	15,2	2	6,6	
3	19,8	2,4	8,7	
4	25	3,2	10,9	
5	31,2	4	13,8	
6	39	5	17	
8	49,4	6,4	21,5	
10	62,4	8	27,2	
12	78	10	34	
YEM - 10	120	30	30	
13	156	39	39	
16	192	48	48	
20	240	60	60	
25	300	75	75	
30	360	90	90	
34	408	102	102	
38	456	114	114	
44	528	132	132	
50	600	150	160	
56	672	168	168	
60	720	180	180	
70	840	210	210	
80	960	240	240	
YM1 - 5	47	13	34	
5a	61	15	38	
7	71,5	20	51,6	
7a	89,5	20	49,5	
12	102	30	72	
17	131	38	93	
20	155	45	110	
23	176	51	125	
29	197	56	141	
34	238	68	170	

¹⁾ YEx designates YEE or YEL

b) Choisir, dans le tableau 10 des valeurs préférentielles, la valeur inférieure la plus proche de la valeur calculée en a). Cette valeur choisie représente la valeur spécifiée de la perméabilité minimale de la tôle découpée.

Tableau 10 – Série préférentielle pour la perméabilité des tôles découpées (selon série R20)

Perméabilité des tôles découpées, $\mu_{lam}/10^3$								
56	50	45	40	35,5	31,5	20	25	22,4
20	18	16	14	12,5	11,2	10	9	8
7,1	6,3	5,6	5	4,5	4	3,56	3,15	2,8
2,5	2,24	2	1,8	1,6	1,4	1,25	1,12	1
0,9	0,8	0,71	0,63	0,56	0,5	0,45	0,4	0,355

8.4 Exemple numérique

a) Tôle découpée

Type et dimension YEI 1-10
 Sous-classe d'alliage et nuance magnétique E11-60
 Epaisseur du matériau, t 0,2 mm

b) Longueur de cisaillement, a

Paramètre distance d'empilement (voir tableau 8) $t_1 = 0,03$ mm
 Perméabilité du matériau (voir tableau 2) $\mu_{mat} = 40\ 000$
 Longueur de cisaillement (voir 8.2 c))

$$a = \sqrt{0,03 \times 0,2 \times 40\ 000} = 16,49 \text{ mm}$$

c) Calcul de μ_{lam}

Paramètres longueur (voir tableau 9) $l_{Fe} = 60$ mm
 $\lambda_1 = 15$ mm
 $\lambda_2 = 15$ mm

En se servant de l'équation 1 de B.3 a):

$$\mu_{lam} = 40\ 000 \times 60 / \left(60 + 2 (16,49) \left(\coth \frac{15}{16,49} + \tanh \frac{15}{16,49} \right) \right) = 19\ 261$$

d) Valeur spécifiée de la perméabilité minimale $\mu_{lam}(\text{min})$

En se reportant à 8.3 b):

$$\mu_{lam}(\text{min}) = 18\ 000$$

b) From table 10, choose the nearest preferred value which is below the value calculated in a). The selected value represents the specified value of the minimum lamination permeability.

Table 10 – Preferred steps of lamination permeability
(following R20 series)

Lamination permeability, $\mu_{\text{lam}}/10^3$								
56	50	45	40	35,5	31,5	28	25	22,4
20	18	16	14	12,5	11,2	10	9	8
7,1	6,3	5,6	5	4,5	4	3,56	3,15	2,8
2,5	2,24	2	1,8	1,6	1,4	1,26	1,12	1
0,9	0,8	0,71	0,63	0,56	0,5	0,45	0,4	0,355

8.4 Numerical example

a) Lamination

Type and size YEI 1-10

Alloy subclass and magnetic grade E11-60

Material thickness, t 0,2 mm

b) Shearing length, a

Distance parameter (see table 8) $l_1 = 0,03$ mm

Material permeability (see table 2) $\mu_{\text{mat}} = 40\,000$

Shearing length (see 8.2 c))

$$a = \sqrt{0,03 \times 0,2 \times 40\,000} = 15,49 \text{ mm}$$

c) Calculation of μ_{lam}

Length parameters (see table 9) $l_{\text{Fe}} = 60$ mm

$\lambda_1 = 15$ mm

$\lambda_2 = 15$ mm

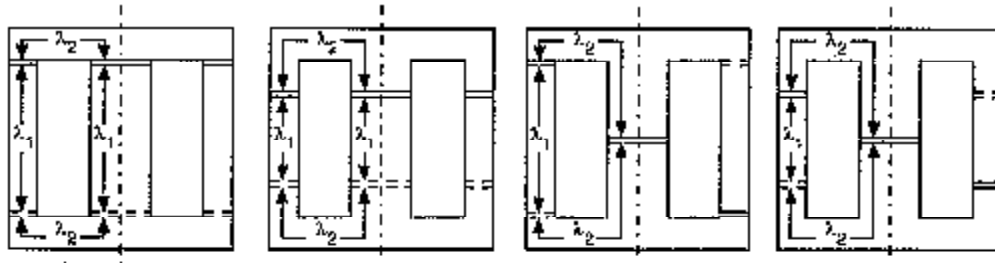
Using equation 1 of 8.3 a):

$$\mu_{\text{lam}} = 40\,000 \times 60 / \left(60 + 2 (15,49) \left(\coth \frac{15}{15,49} + \tanh \frac{15}{15,49} \right) \right) = 19\,281$$

d) Minimum specified value for μ_{lam} (min)

Hence, in accordance with 8.3 b):

$$\mu_{\text{lam}} (\text{min}) = 18\,000$$



YEI

Figure 1

YEE

Figure 2

YEF2

YEF3
Figure 3

YEF4

Figure 4

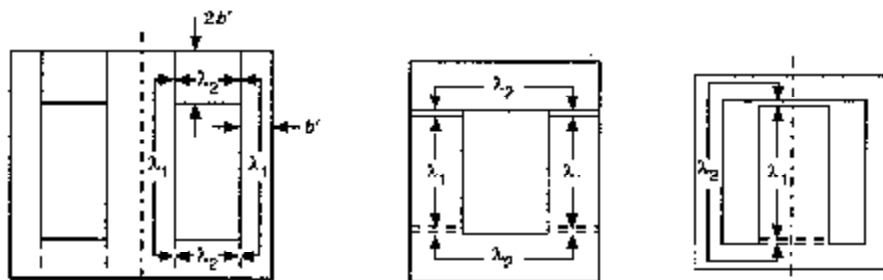
YED (largeurs b' et $2b'$)YES (b' aussi au lieu de $2b'$
pour l'étrier)

Figure 5

YUI

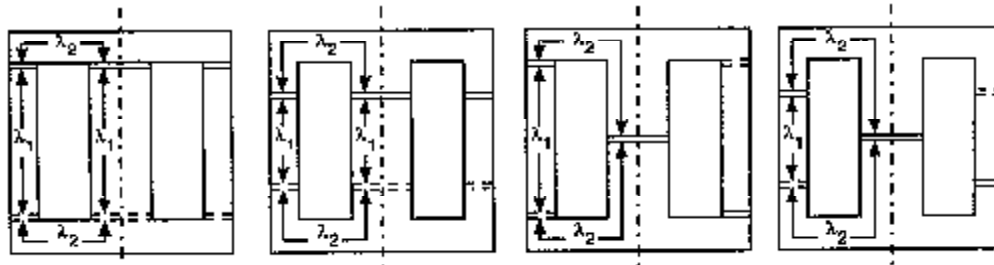
Figure 6

YM

Figure 7

 λ_1, λ_2 : longueurs de recouvrement b' : largeur de certaines jambes extérieures

Figures 1 à 7 - Position des paramètres longueur pour différents types de tôles laminées



YEI

Figure 1

YEF

YEL

Figure 2

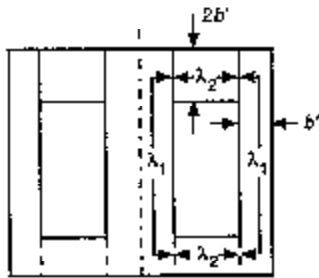
YEF2

YEF3

Figure 3

YEF4

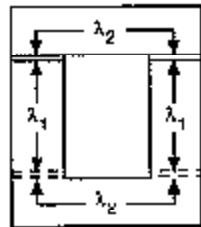
Figure 4



YED (widths b' and $2b'$)

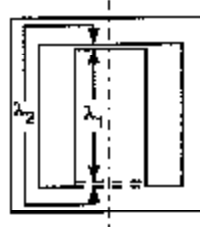
YES (b' also for the yoke instead of $2b'$)

Figure 5



YUI

Figure 6



YM

Figure 7

λ_1, λ_2 : overlapping lengths

b' : width of some outer limbs

Figures 1 to 7 – Location of length parameters for different lamination types

Annexe A / Annex A**Bibliographie / Bibliography**

- [1] R. Brenner, F. Pfeifer: "Die Scherung der Anfangspermeabilität bei wechselseitig geschichteten Kernblechen"; *Frequenz* 14 (1960) 167-181
("The shear of initial permeability in alternately coated core laminations")
- [2] F. Assmus: "Lamination Permeability Calculated from a Field-Strength-Dependent Material Permeability"; *IEEE Transactions on Magnetics*, VOL.MAG-20 (1984) 2037-2042
- [3] R. Brenner, D. Ganz: "Optimaler Aufbau von Magnetkernen aus Texturblechen"; *Elektrotechn. Zeitschrift*, A 82 (1961) 148 etc.
("Optimum construction of magnetic cores from laminations")

**Publications de la CEEI préparées
par le Comité d'Etudes n° 51**

- 133 (1985) Dimensions des circuits magnétiques en puits en oxydes magnétiques et pièces associées.
- 205 (1966) Calcul des paramètres effectifs des pièces ferromagnétiques.
Modification n° 1 (1976).
Modification n° 2 (1981).
- 205A (1968) Premier complément.
- 205D (1974) Deuxième complément.
- 220 (1966) Dimensions des tubes et petits bâtonnets en oxydes ferromagnétiques.
- 221 (1966) Dimensions des vis magnétiques en oxydes ferromagnétiques.
Modification n° 2 (1976).
- 221A (1972) Premier complément.
- 223 (1966) Dimensions des bâtonnets et des plaques d'enclenchement en oxydes ferromagnétiques.
- 223A (1972) Premier complément.
- 223B (1977) Deuxième complément.
- 226 (1967) Dimensions des noyaux en croix (noyaux X) en oxydes ferromagnétiques et pièces associées.
Modification n° 1 (1982).
- 226A (1970) Premier complément.
- 281 (1969) Noyaux magnétiques destinés aux mémoires de sélection à coïncidence de courants ayant un rapport de sélection nominal de 2:1 et aux mémoires à sélection linéaire.
Modification n° 1 (1975).
- 381A (1973) Premier complément.
- 329 (1985) Circuits magnétiques coupés en fer-silicium orienté, destinés aux équipements électroniques et de télécommunications.
- 367: - Noyaux pour bobines d'inductance et transformateurs destinés aux télécommunications.
- 367-1 (1982) Première partie: Méthodes de mesure.
Modification n° 1 (1984).
Amendement 2 (1992).
- 367-2 (1974) Deuxième partie: Directives pour l'établissement des spécifications.
Modification n° 1 (1983).
- 367-2A (1976) Premier complément.
- 392 (1972) Directives pour l'établissement des spécifications relatives aux ferrites pour hyperfréquences.
- 401 (1993) Matériaux ferrites - Guide relatif au format des données figurant dans les catalogues des fabricants de noyaux pour transformateurs et bobines d'inductance.
- 424 (1973) Directives pour la spécification de limites aux imperfections physiques de pièces en oxydes magnétiques.
- 431 (1983) Dimensions des noyaux carrés (noyaux RM) en oxydes magnétiques et pièces associées.
- 492 (1974) Méthodes de mesure des bâtonnets d'antenne.
- 525 (1976) Dimensions des tores constitués d'oxydes magnétiques ou de poudre de fer.
Modification n° 1 (1980).
- 556 (1982) Méthodes de mesure des propriétés des matériaux gyromagnétiques destinés aux applications hyperfréquences.

(Suite)

**IEC publications prepared
by Technical Committee No. 51**

- 133 (1985) Dimensions for pot-cores made of magnetic oxides and associated parts.
- 205 (1966) Calculation of the effective parameters of magnetic piece parts.
Amendment No. 1 (1976).
Amendment No. 2 (1981).
- 205A (1968) First supplement.
- 205B (1974) Second supplement.
- 220 (1966) Dimensions of tubes, pins and rods of ferromagnetic oxides.
- 221 (1966) Dimensions of screw cores made of ferromagnetic oxides.
Amendment No. 2 (1976).
- 221A (1972) First supplement.
- 223 (1966) Dimensions of serial rods and studs of ferromagnetic oxides.
- 223A (1972) First supplement.
- 223B (1977) Second supplement.
- 226 (1967) Dimensions of cross cores (X-cores) made of ferromagnetic oxides and associated parts.

Amendment No. 1 (1982).
- 226A (1970) First supplement.
- 281 (1969) Magnetic cores for application in coincident current matrix stores having a nominal selection ratio of 2:1 and in linear select memory stores.
Amendment No. 1 (1975).
- 281A (1973) First supplement.
- 329 (1985) Strip-wound cut cores of grain oriented silicon-iron alloy, used for electronic and telecommunication equipment.
- 367: - Cores for inductors and transformers for telecommunications.
- 367-1 (1982) Part 1: Measuring methods.
Amendment No. 1 (1984).
Amendment 2 (1992).
- 367-2 (1974) Part 2: Guides for the drafting of performance specifications.
Amendment No. 1 (1983).
- 367-2A (1976) First supplement.
- 392 (1972) Guide for the drafting of specifications for microwave ferrites.
- 401 (1993) Ferrite materials - Guide on the format of data appearing in manufacturers' catalogues of transformer and inductor cores.
- 424 (1973) Guide to the specification of limits for physical imperfections of parts made from magnetic oxides.
- 431 (1983) Dimensions of square cores (RM-cores) made of magnetic oxides and associated parts.
- 492 (1974) Measuring methods for serial rods.
- 525 (1976) Dimensions of toroids made of magnetic oxides or iron powder.
Amendment No. 1 (1980).
- 556 (1982) Measuring methods for properties of gyromagnetic materials intended for application at microwave frequencies.

(Continued)

**Publications de la CEI préparées
par le Comité d'Études n° 51 (Suite)**

- 635 (1978) Noyaux toroïdaux en feuillard bobiné en matériau magnétique doux.
- 647 (1979) Dimensions des noyaux en oxyde magnétique destinés aux alimentations (noyaux IIC).
- 701 (1981) Noyaux en oxyde magnétique ou en poudre de fer à sorties axiales.
- 723: - Noyaux d'inductance et de transformateurs destinés aux télécommunications.
- 723-1 (1982) Première partie: Spécification générique.
- 723-2 (1983) Deuxième partie: Spécification intermédiaire. Noyaux en oxyde magnétique destinés aux bobines d'inductances. Modification n° 1 (1989).
- 723-2-1 (1983) Deuxième partie: Spécification particulière-cadre. Noyaux en oxyde magnétique destinés aux bobines d'inductance. Niveau d'assurance A.
- 723-3 (1985) Troisième partie: Spécification intermédiaire: Noyaux en oxyde magnétique destinés aux transformateurs à large bande.
- 723-3-1 (1985) Troisième partie: Spécification particulière cadre: Noyaux en oxyde magnétique destinés aux transformateurs à large bande. Niveaux d'assurance A et B.
- 723-4 (1987) Quatrième partie: Spécification intermédiaire: Noyaux en oxyde magnétique pour les transformateurs et bobines d'arrêt destinés aux applications de puissance.
- 723-4-1 (1987) Quatrième partie: Spécification particulière cadre: Noyaux en oxyde magnétique pour les transformateurs et bobines d'arrêt destinés aux applications de puissance. Niveau d'assurance A.
- 723-5 (1993) Partie 5: Spécification intermédiaire: Bâtonnets de réglage employés avec des noyaux en oxyde magnétique destinés aux bobines d'inductance et transformateurs réglables.
- 723-5-1 (1993) Section 1: Spécification particulière cadre - Niveau d'assurance A.
- 732 (1982) Méthodes de mesure pour noyaux cylindriques, noyaux tubulaires et noyaux à vis en oxydes magnétiques.
- 740 (1982) Tôles découpées pour transformateurs et inductances destinés aux équipements électroniques et de télécommunications.
- 740-2 (1993) Tôles découpées pour transformateurs et inductances destinés aux équipements électroniques et de télécommunications - Partie 2: Spécification des perméabilités minimales pour les tôles découpées en matériau métallique magnétiquement doux.
- 852: - Dimensions extérieures des transformateurs et inductances destinés aux équipements électroniques et de télécommunications.
- 852-1 (1986) Première partie: Transformateurs et inductances utilisant des tôles découpées YEI-1.
- 852-2 (1992) Partie 2: Transformateurs et inductances utilisant des tôles découpées YEx-2 pour montage sur circuits imprimés.
- 852-3 (1992) Partie 3: Transformateurs et inductances utilisant des tôles découpées YUI-1.

(Suite)

**IEC publications prepared
by Technical Committee No. 51 (Continued)**

- 635 (1978) Toroidal strip-wound cores made of magnetically soft material.
- 647 (1979) Dimensions for magnetic oxide cores intended for use in power supplies (EC-cores).
- 701 (1981) Axial lead cores made of magnetic oxides or iron powder.
- 723: - Inductor and transformer cores for telecommunications.
- 723-1 (1982) Part 1: Generic specification.
- 723-2 (1983) Part 2: Sectional specification. Magnetic oxide cores for inductor applications. Addendum No. 1 (1989).
- 723-2-1 (1983) Part 2: Blank detail specification. Magnetic oxide cores for inductor applications. Assessment level A.
- 723-3 (1985) Part 3: Sectional specification: Magnetic oxide cores for broad-band transformers.
- 723-3-1 (1985) Part 3: Blank detail specification: Magnetic oxide cores for broad-band transformers. Assessment levels A and B.
- 723-4 (1987) Part 4: Sectional specification: Magnetic oxide cores for transformers and chokes for power applications.
- 723-4-1 (1987) Part 4: Blank detail specification: Magnetic oxide cores for transformers and chokes for power applications. Assessment level A.
- 723-5 (1993) Part 5: Sectional specification: Adjusters used with magnetic oxide cores for use in adjustable inductors and transformers.
- 723-5-1 (1993) Section 1: Blank detail specification - Assessment level A.
- 732 (1982) Measuring methods for cylinder cores, tube cores and screw cores of magnetic oxides.
- 740 (1982) Laminations for transformers and inductors for use in telecommunication and electronic equipment.
- 740-2 (1993) Laminations for transformers and inductors for use in telecommunication and electronic equipment - Part 2: Specification for the minimum permeabilities of laminations made of soft magnetic metallic materials.
- 852: - Outline dimensions of transformers and inductors for use in telecommunication and electronic equipment.
- 852-1 (1986) Part 1: Transformers and inductors using YEI-1 laminations.
- 852-2 (1992) Part 2: Transformers and inductors using YEx-2 laminations for printed wiring board mounting.
- 852-3 (1992) Part 3: Transformers and inductors using YUI-1 laminations.

(Continued)

**Publications de la CEI préparées
par le Comité d'Études n° 51 (Suite)**

- 1007 (1990) Transformateurs et inductances utilisés dans les équipements électroniques et de télécommunications - Méthodes de mesure et procédures d'essais.
- 1021: - Noyaux en tôles découpées pour transformateurs et inductances destinés aux équipements électroniques et de télécommunications.
- 1021-1 (1990) Partie 1: Dimensions.
- 1185 (1992) Noyaux d'oxydes magnétiques (noyaux F110) destinés à être utilisés dans les alimentations - Dimensions.
- 1186: - Transformateur et inductances destinés aux équipements électroniques et de télécommunications - Désignations des noyaux et assemblages.
- 1186-1 (1992) Partie 1: Noyaux laminés.

**IEC publications prepared
by Technical Committee No. 51 (Continued)**

- 1007 (1990) Transformers and inductors for use in electronic and telecommunication equipment - Measuring methods and test procedures.
- 1021: - Laminated core packages for transformers and inductors used in telecommunication and electronic equipment.
- 1021-1 (1990) Part 1: Dimensions.
- 1185 (1992) Magnetic oxide cores (E110-cores) intended for use in power supply applications - Dimensions
- 1186: - Transformers and inductors for use in telecommunication and electronic equipment - Designations for cores and assemblies.
- 1186-1 (1992) Part 1: Laminated cores.

Publication 740:2

Typeset and printed by the IEC Central Office
GENEVA, SWITZERLAND