

**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

## 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.

**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 la photocopie et  
les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

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

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

---

---



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE

**R**

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

# SOMMAIRE

	Pages
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, $\delta$ .....	14
8 Calcul de la perméabilité des tôles découpées, $\mu_{lam}$ .....	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, $\mu_{\text{lam}}$ (min) .....	13
7.2 Inductance factor, $A_L$ .....	15
7.3 Permeability rise factor, $\delta$ .....	15
8 Calculation of lamination permeability, $\mu_{\text{lam}}$ .....	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.

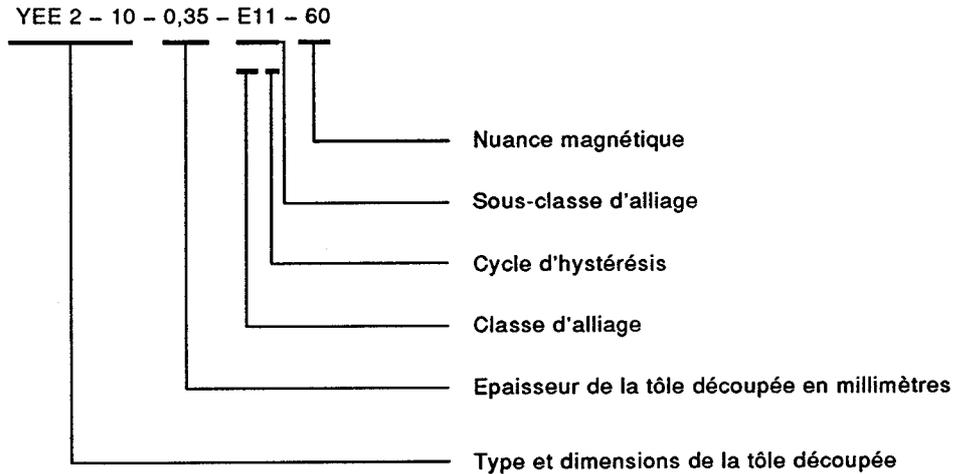
**3.1 alloy subclass:** For alloy classes E1 to E4, the alloy class is enlarged by a second digit which expresses the shape of the hysteresis loop: 1 for a round loop; 2 for a rectangular loop.

**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 <sup>1)</sup> %	Induction à saturation <sup>2)</sup> T	Coercitivité statique A/m	Point de Curie °C	Résistivité électrique μΩ.m	Densité 10 <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup>
E11	- 60 - 100	75 - 81 Ni	0,75	3 2	400	0,55	8,7
E31	- 04 <sup>3)</sup> - 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	8,15
C21	- 09	2 - 4,5 Si	1,55	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 404-8-6

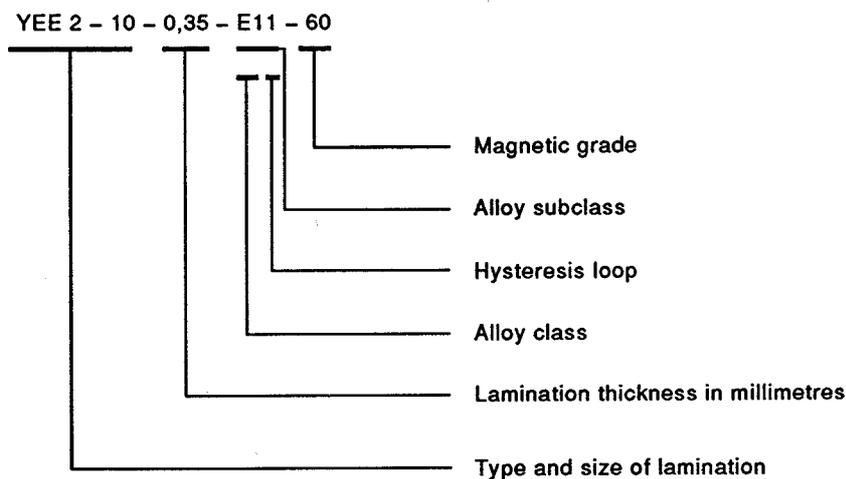
2) Pour H = 4 000 A/m

3) Cette nuance est spécifiée dans l'amendement 1 de la CEI 404-8-6.

#### 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 <sup>1)</sup> %	Saturation flux density <sup>2)</sup> T	Static coercivity A/m	Curie temperature °C	Electrical resistivity μΩ.m	Density 10 <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup>
E11	- 60 - 100	75 - 81 Ni	0,75	3 2	400	0,55	8,7
E31	- 04 <sup>3)</sup> - 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	8,15
C21	- 09	2 - 4,5 Si	1,55	40	750	0,45	7,65
C22	- 13	2,5 - 3,5 Si	1,9	20	750	0,45	7,65

**NOTES**

<sup>1)</sup> According to IEC 404-8-6

<sup>2)</sup> At H = 4 000 A/m

<sup>3)</sup> This magnetic grade is specified in Amendment 1 to IEC 404-8-6.

## 6 Exigences de perméabilité pour le matériau des tôles découpées

Les perméabilités minimales  $\mu_{mat}$  (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 $\hat{H}$ (A/m)	Perméabilité minimale du matériau, $\mu_{mat}$ (min) <sup>1)</sup> /10 <sup>3</sup>			
			Epaisseur en mm			
			0,30 à 0,38	0,15 à 0,20	0,10	0,05
E11	- 60	0,4	40	40	35	30
	- 100		50	60	60	50
E31	- 04 <sup>2)</sup>	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
	- 03		2,9	2,9	2,9	2,5
C21	- 09	1,6	0,9	0,75	-	-
C22	- 13		1,3	-	-	-

NOTES

1)  $\mu_{mat}$  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 50 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, $\mu_{lam}$ (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  $\mu_{lam}$  (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  $\mu_{lam}$  (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:

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

## 6 Permeability requirements for the lamination material

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

NOTE - This data is an abstract from table II of IEC 404-8-6

Table 2 - Minimum permeability requirements for sheet and strip

Alloy subclass	Magnetic grade	Measuring point $\hat{H}$ (A/m)	Minimum material permeability, $\mu_{\text{mat}}$ (min) <sup>1)</sup> /10 <sup>3</sup>			
			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		50	60	60	50
E31	- 04 <sup>2)</sup>	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
	- 03		2,9	2,9	2,9	2,5
C21	- 09	1,6	0,9	0,75	-	-
C22	- 13		1,3	-	-	-

NOTES

1)  $\mu_{\text{mat}}$  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 404-8-6.

2) See note 3 to table 1.

## 7 Permeability requirements for laminations

### 7.1 Minimum lamination permeability, $\mu_{\text{lam}}$ (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  $\mu_{\text{lam}}$  (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  $\mu_{\text{lam}}$  (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  $\mu_{\text{lam}} < 20\% \mu_{\text{mat}}$ .

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  $\mu_{lam}$ , 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:

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

où

$A_{Fe}$ ,  $l_{Fe}$  et  $C_1$  sont définis en 9.1 de la CEI 740;

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

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

### 7.3 Facteur d'accroissement de la perméabilité, $\delta$

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

$$\delta_{0,4} = \frac{\mu_{1,6} - \mu_{0,4}}{\mu_{1,6} \cdot \Delta \hat{H}} = 0,833 \cdot \frac{\mu_{1,6} - \mu_{0,4}}{\mu_{1,6}} \quad (\text{m/A})$$

$$\delta_8 = \frac{\mu_8 - \mu_{1,6}}{\mu_{1,6} \cdot \Delta \hat{H}} = 0,156 \cdot \frac{\mu_8 - \mu_{1,6}}{\mu_{1,6}} \quad (\text{m/A})$$

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  $\delta$  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  $\mu_{lam}$ , 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:

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

where

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

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

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

### 7.3 Permeability rise factor, $\delta$

NOTE - The permeability rise factor is defined as follows:

$$\delta_{0,4} = \frac{\mu_{1,6} - \mu_{0,4}}{\mu_{1,6} \cdot \Delta \hat{H}} = 0,833 \cdot \frac{\mu_{1,6} - \mu_{0,4}}{\mu_{1,6}} \text{ (m/A)}$$

$$\delta_8 = \frac{\mu_8 - \mu_{1,6}}{\mu_{1,6} \cdot \Delta \hat{H}} = 0,156 \cdot \frac{\mu_8 - \mu_{1,6}}{\mu_{1,6}} \text{ (m/A)}$$

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  $\delta$  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

		Sous-classe d’alliage (y compris nuance magnétique)								
Type et gamme	Dimensions	E11-60	E11-100	E31-04	E31-06	E31-10	E41-02	E41-03	C21-09	C22-13
YE11	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
YE12	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
YE13 YEF3	10 à 16									
	20 à 40									
YEE4	2 à 12	X	X	X	X	X			X	X
YEF4	2 à 12									
YUI1	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)

		Alloy subclasses (including magnetic grades)								
Type and range	Size	E11-60	E11-100	E31-04	E31-06	E31-10	E41-02	E41-03	C21-09	C22-13
YEI1	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
YEI2	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 } YEL3 }	10 to 16	X	X	X	X	X				
	20 to 40								X	X
YEI3 } YEF3 }	10 to 16									
	20 to 40									
YEE4	2 to 12	X	X	X	X	X			X	X
YEF4	2 to 12									
YUI1	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 CEI	Perméabilité minimale $\mu_{lam}(min)/10^3$							
	E11-60 Epaisseur mm				E11-100 Epaisseur mm			
	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
YEI1 - 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
<sup>1)</sup> 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	12,5	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	12,5	22,4	25
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	16	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	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	25	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
<sup>1)</sup> YEx3 - 10	18	20	22,4	22,4	20	28	35,5	35,5
12	20	22,4	25	22,4	22,4	31,5	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	3,15	6,3	10	2	3,15	7,1	12,5
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	12,5	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
YUI1 - 10	22,4	25	25	25	28	35,5	40	40
13	25	28	28	25	31,5	40	45	40
16	28	28	28	25	31,5	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	35,5	45	50	45
23	31,5	31,5	31,5	28	35,5	45	50	45
29	31,5	31,5	31,5	28	40	50	50	45
34	31,5	31,5	31,5	28	40	50	50	45

<sup>1)</sup> YEx désigne YEE ou YEL

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

IEC designation	Minimum permeability $\mu_{lam}(min)/10^3$								
	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
<sup>1)</sup> 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	12,5	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	12,5	22,4	25
	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	16	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	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	25	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
<sup>1)</sup> YEx3	- 10	18	20	22,4	22,4	20	28	35,5	35,5
	12	20	22,4	25	22,4	22,4	31,5	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	3,15	6,3	10	2	3,15	7,1	12,5
	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	12,5	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
YUI1	- 10	22,4	25	25	25	28	35,5	40	40
	13	25	28	28	25	31,5	40	45	40
	16	28	28	28	25	31,5	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	35,5	45	50	45
	23	31,5	31,5	31,5	28	35,5	45	50	45
	29	31,5	31,5	31,5	28	40	50	50	45
	34	31,5	31,5	31,5	28	40	50	50	45

<sup>1)</sup> 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 $\mu_{lam}$ (min)/10 <sup>3</sup>												
	E31-04 Epaisseur mm				E31-06 Epaisseur mm				E31-10 Epaisseur mm				
	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	0,3 à 0,38	0,15 à 0,2	0,1	0,05	
YEI1	- 10	2,8	2,8	3,15	3,15	3,55	4	4,5	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	5	5	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
<sup>1)</sup> 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	5	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
	10	2,8	3,15	3,15	3,55	4	4,5	5	5	6,3	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	7,1
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	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
	10	2,8	2,8	3,15	3,15	4	4,5	4,5	4,5	6,3	7,1	5,6	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	6,3
YED2	- 2	2,5	2,8	3,15	3,55	3,55	4	5	5,6	5	5,6	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
	10	3,55	4	4	4	5,6	5,6	5,6	5,6	9	9	8	8
	12	4	4	4	4	5,6	5,6	5,6	5,6	9	9	8	8
<sup>1)</sup> 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	0,9	1,25	1,8	2,5	1	1,4	2,24	3,15	1,12	1,8	2,8	4
	3	1,12	1,6	2	2,8	1,4	1,8	2,8	3,55	1,6	2,24	3,15	4,7
	4	1,4	1,8	2,5	2,8	1,8	2,5	3,14	4	2,24	3,15	4	5
	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
	10	2,8	2,8	3,15	3,15	3,55	4	4,5	5	5	6,3	5,6	6,3
	12	2,8	3,15	3,15	3,55	4	4,5	5	5	5,6	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	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
	5a	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

<sup>1)</sup> YEx désigne YEE ou YEL

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

IEC designation	Minimum permeability $\mu_{lam}(\text{min})/10^3$												
	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 0,38	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	2,8	2,8	3,15	3,15	3,55	4	4,5	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	5	5	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
<sup>1)</sup> 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	5	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
	10	2,8	3,15	3,15	3,55	4	4,5	5	5	6,3	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	7,1
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	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
	10	2,8	2,8	3,15	3,15	4	4,5	4,5	4,5	6,3	7,1	5,6	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	6,3
YED2	- 2	2,5	2,8	3,15	3,55	3,55	4	5	5,6	5	5,6	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
	10	3,55	4	4	4	5,6	5,6	5,6	5,6	9	9	8	8
	12	4	4	4	4	5,6	5,6	5,6	5,6	9	9	8	8
<sup>1)</sup> 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	0,9	1,25	1,8	2,5	1	1,4	2,24	3,15	1,12	1,8	2,8	4
	3	1,12	1,6	2	2,8	1,4	1,8	2,8	3,55	1,6	2,24	3,15	4,7
	4	1,4	1,8	2,5	2,8	1,8	2,5	3,14	4	2,24	3,15	4	5
	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
	10	2,8	2,8	3,15	3,15	3,55	4	4,5	5	5	6,3	5,6	6,3
	12	2,8	3,15	3,15	3,55	4	4,5	5	5	5,6	6,3	6,3	6,3
YU11	- 10	3,15	3,15	3,55	3,55	4,5	5	5	5	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
	5a	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

<sup>1)</sup> 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 $\mu_{lam}(min)/10^3$								
	E41-02 Epaisseur mm				E41-03 Epaisseur mm				
	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	
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	1,6	1	1,4	1,8	1,8
	3	1,25	1,25	1,6	1,8	1,25	1,6	2	2
	<sup>1)</sup> 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	1,6	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	2,8	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

<sup>1)</sup> YEx désigne YEE ou YEL

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

IEC designation	Minimum permeability $\mu_{lam}(min)/10^3$								
	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	
YEI1	- 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	1,6	1	1,4	1,8	1,8
	3	1,25	1,25	1,6	1,8	1,25	1,6	2	2
	<sup>1)</sup> 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	1,6	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	2,8	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

<sup>1)</sup> YEx designates YEE or YEL

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

Désignation CEI	Perméabilité minimale $\mu_{lam}$ (min)/10 <sup>3</sup>			
	C21-09 Epaisseur mm		C22-13 Epaisseur mm	
	0,3 à 0,38	0,15 à 0,2	0,3 à 0,38	
YEI1	- 10	0,63	0,63	1
	13	0,8	0,63	1
	14	0,8	0,63	1
	16	0,8	0,63	1
	18	0,8	0,63	1
	20	0,8	0,63	1,12
	22	0,8	0,63	1,12
	25	0,8	0,63	1,12
	28	0,8	0,63	1,12
	32	0,8	0,63	1,12
	36	0,9	0,63	1,12
	40	0,9	0,63	1,12
	50	0,9	0,63	1,12
<sup>1)</sup> YEx2	- 2	0,5	0,5	0,63
	3	0,56	0,56	0,8
	4	0,56	0,56	0,8
	5	0,63	0,56	0,9
	6	0,63	0,56	1
	8	0,63	0,63	1
	10	0,8	0,63	1
	12	0,8	0,63	1
<sup>1)</sup> YEx3	- 20	0,8	0,63	1,12
	25	0,9	0,63	1,12
	32	0,9	0,63	1,12
	40	0,9	0,63	1,12
YEE4	2	0,4	0,5	0,5
	3	0,5	0,5	0,56
	4	0,56	0,56	0,8
	5	0,56	0,56	0,8
	6	0,63	0,56	0,9
	8	0,63	0,56	1
	10	0,8	0,63	1
	12	0,8	0,63	1
YUI1	- 34	0,9	0,63	1,25
	38	0,9	0,63	1,25
	44	0,9	0,63	1,25
	50	0,9	0,63	1,25
	56	0,9	0,63	1,25
	60	0,9	0,63	1,25
	70	0,9	0,63	1,25
	80	0,9	0,63	1,25
YM1	- 5	0,8	0,63	1
	5a	0,8	0,63	1
	7	0,8	0,63	1,12
	7a	0,8	0,63	1,12
	12	0,8	0,63	1,12
	17	0,9	0,63	1,12
	20	0,9	0,63	1,12
	23	0,9	0,63	1,12
	29	0,9	0,63	1,25
	34	0,9	0,63	1,25

<sup>1)</sup> YEx désigne YEE ou YEL

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

IEC designation	Minimum permeability $\mu_{lam}$ (min)/10 <sup>3</sup>			
	C21-09 Thickness mm		C22-13 Thickness mm	
	0,3 to 0,38	0,15 to 0,2	0,3 to 0,38	
YE11	- 10	0,63	0,63	1
	13	0,8	0,63	1
	14	0,8	0,63	1
	16	0,8	0,63	1
	18	0,8	0,63	1
	20	0,8	0,63	1,12
	22	0,8	0,63	1,12
	25	0,8	0,63	1,12
	28	0,8	0,63	1,12
	32	0,8	0,63	1,12
	36	0,9	0,63	1,12
	40	0,9	0,63	1,12
	50	0,9	0,63	1,12
1) YEx2	- 2	0,5	0,5	0,63
	3	0,56	0,56	0,8
	4	0,56	0,56	0,8
	5	0,63	0,56	0,9
	6	0,63	0,56	1
	8	0,63	0,63	1
	10	0,8	0,63	1
	12	0,8	0,63	1
1) YEx3	- 20	0,8	0,63	1,12
	25	0,9	0,63	1,12
	32	0,9	0,63	1,12
	40	0,9	0,63	1,12
YEE4	2	0,4	0,5	0,5
	3	0,5	0,5	0,56
	4	0,56	0,56	0,8
	5	0,56	0,56	0,8
	6	0,63	0,56	0,9
	8	0,63	0,56	1
	10	0,8	0,63	1
	12	0,8	0,63	1
YUI1	- 34	0,9	0,63	1,25
	38	0,9	0,63	1,25
	44	0,9	0,63	1,25
	50	0,9	0,63	1,25
	56	0,9	0,63	1,25
	60	0,9	0,63	1,25
	70	0,9	0,63	1,25
	80	0,9	0,63	1,25
YM1	- 5	0,8	0,63	1
	5a	0,8	0,63	1
	7	0,8	0,63	1,12
	7a	0,8	0,63	1,12
	12	0,8	0,63	1,12
	17	0,9	0,63	1,12
	20	0,9	0,63	1,12
	23	0,9	0,63	1,12
	29	0,9	0,63	1,25
	34	0,9	0,63	1,25

1) YEx designates YEE or YEL

## 8 Calcul de la perméabilité des tôles découpées, $\mu_{lam}$

### 8.1 Généralités

La perméabilité d'un noyau en tôles découpées ( $\mu_{lam}$ ) est fonction de la perméabilité du matériau utilisé ( $\mu_{mat}$ ) 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  $\mu_{lam}$  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  $\mu_{lam}$  à  $\mu_{mat}$ , on introduit par commodité de nouveaux paramètres dérivés qui sont:

- a) Les longueurs de recouvrement  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$ , 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.
- b) 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  $l_1$

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

- c) 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, $\mu_{\text{lam}}$

### 8.1 General

The permeability of a laminated core (lamination permeability  $\mu_{\text{lam}}$ ) depends upon the material permeability,  $\mu_{\text{mat}}$ , 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  $\mu_{\text{lam}}$  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  $\mu_{\text{lam}}$  to  $\mu_{\text{mat}}$ , it is convenient to introduce a number of new and derived parameters. These are:

- a) Overlapping lengths,  $\lambda_1$  and  $\lambda_2$ , 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:

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

\* 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 empilement en deux parties se recouvrant (voir figures 1, 2 et 6):

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

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

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

3) Type YEF à empilement 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  $\mu_{lam}$  pour ces types de tôles ne sont donc pas spécifiées.

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

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

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 empilement en une seule partie se recouvrant (voir figure 4 par analogie):

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

Les valeurs pour  $\mu_{mat}$  sont prises dans le tableau 2, celles pour  $l_{Fe}$ ,  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$  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):

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

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

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

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  $\mu_{\text{lam}}$  can be quoted and values of  $\mu_{\text{lam}}$  for these lamination types are not specified.

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

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

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 over-lapping stacking (analogously to figure 4):

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

The values for  $\mu_{\text{mat}}$  are taken from table 2 and those for  $l_{\text{Fe}}$ ,  $\lambda_1$  and  $\lambda_2$  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  $\mu_{lam}$

Désignation CEI	$l_{Fe}$ mm	$\lambda_1$ mm	$\lambda_2$ mm	$b'$ mm	
YEI1	- 10 13 14 16 18 20 22 25 28 32 36 40 50	60 77 84 96 108 120 132 150 168 192 216 240 300	15 19,2 21 24 27 30 33 37,5 42 48 54 60 75	15 19,2 21 24 27 30 33 37,5 42 48 54 60 75	
YEI2	- 2 3 4 5 6 8 10 12	19,2 24 30,2 38,4 48 59,8 76,8 96	5,6 7 8,8 11,2 14 17,4 22,4 28	4 5 6,3 8 10 12,5 16 20	
<sup>1)</sup> YEx2	- 2 3 4 5 6 8 10 12	19,2 24 30,2 38,4 48 59,8 76,8 96	3 4 4,6 6 8 9 12 16	6,3 8 10,5 13,2 16 20,9 26,4 32	
YES2	- 2 3 4 5 6 8 10 12	19,2 24 30,2 38,4 48 59,8 76,8 96	8 10 12,6 16 20 25 32 40	1,6 2 2,5 3,2 4 4,9 6,4 8	
YEF2	- 2 3 4 5 6 8 10 12	19,2 24 30,2 38,4 48 59,8 76,8 96	5,6 7 8,8 11,2 14 17,4 22,4 28	6,8 8,5 10,7 13,6 17 21,2 27,2 34	
YED2	- 2 3 4 5 6 8 10 12	22,2 27 34,6 43,4 54 67,8 86,8 108	9,7 11,5 14,9 18,5 23 29,1 37,1 46	1,4 2 2,4 3,2 4 4,8 6,3 8	1,2 1,5 1,9 2,4 3 3,8 4,8 6
YEI3	- 10 12 16 20 25 32 40	90 108 144 180 225 288 360	25 30 40 50 62,5 80 100	20 24 32 40 50 64 80	
1) YEx désigne YEE ou YEL					

Table 9 – Values of length parameters required to calculate  $\mu_{lam}$ 

IEC designation	$l_{Fe}$ mm	$\lambda_1$ mm	$\lambda_2$ mm	$b'$ mm	
YEI1	- 10 13 14 16 18 20 22 25 28 32 36 40 50	60 77 84 96 108 120 132 150 168 192 216 240 300	15 19,2 21 24 27 30 33 37,5 42 48 54 60 75	15 19,2 21 24 27 30 33 37,5 42 48 54 60 75	
YEI2	- 2 3 4 5 6 8 10 12	19,2 24 30,2 38,4 48 59,8 76,8 96	5,6 7 8,8 11,2 14 17,4 22,4 28	4 5 6,3 8 10 12,5 16 20	
<sup>1)</sup> YEx2	- 2 3 4 5 6 8 10 12	19,2 24 30,2 38,4 48 59,8 76,8 96	3 4 4,6 6 8 9 12 16	6,3 8 10,5 13,2 16 20,9 26,4 32	
YES2	- 2 3 4 5 6 8 10 12	19,2 24 30,2 38,4 48 59,8 76,8 96	8 10 12,6 16 20 25 32 40	1,6 2 2,5 3,2 4 4,9 6,4 8	
YEF2	- 2 3 4 5 6 8 10 12	19,2 24 30,2 38,4 48 59,8 76,8 96	5,6 7 8,8 11,2 14 17,4 22,4 28	6,8 8,5 10,7 13,6 17 21,2 27,2 34	
YED2	- 2 3 4 5 6 8 10 12	22,2 27 34,6 43,4 54 67,8 86,8 108	9,7 11,5 14,9 18,5 23 29,1 37,1 46	1,4 2 2,4 3,2 4 4,8 6,3 8	1,2 1,5 1,9 2,4 3 3,8 4,8 6
YEI3	- 10 12 16 20 25 32 40	90 108 144 180 225 288 360	25 30 40 50 62,5 80 100	20 24 32 40 50 64 80	
1) YEx designates YEE or YEL					

Tableau 9 (fin)

Désignation CEI	$l_{Fe}$ mm	$\lambda_1$ mm	$\lambda_2$ mm	$b'$ mm
<sup>1)</sup> YEx3 - 10	90	15	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	7,5	
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	
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	13,6	
6	39	5	17	
8	49,4	6,4	21,5	
10	62,4	8	27,2	
12	78	10	34	
YEI1 - 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	150	
56	672	168	168	
60	720	180	180	
70	840	210	210	
80	960	240	240	
YM1 - 5	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	
23	176	51	125	
29	197	56	141	
34	238	68	170	
1) YEx désigne YEE ou YEL				

Table 9 (concluded)

IEC designation	$l_{Fe}$ mm	$\lambda_1$ mm	$\lambda_2$ mm	$b'$ mm
<sup>1)</sup> YEx3 - 10	90	15	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	7,5	
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	
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	13,6	
6	39	5	17	
8	49,4	6,4	21,5	
10	62,4	8	27,2	
12	78	10	34	
YEI1 - 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	150	
56	672	168	168	
60	720	180	180	
70	840	210	210	
80	960	240	240	
YM1 - 5	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	
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 (suivant série R20)

Perméabilité des tôles découpées, $\mu_{lam}/10^3$								
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	3,55	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)  $l_1 = 0,03$  mm  
 Perméabilité du matériau (voir tableau 2)  $\mu_{mat} = 40\ 000$   
 Longueur de cisaillement (voir 8.2 c))

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

c) Calcul de  $\mu_{lam}$

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 8.3 a):

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

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	3,55	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 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 $\mu_{\text{lam}}$

Length parameters (see table 9)  $l_{\text{Fe}} = 60$  mm  
 $\lambda_1 = 15$  mm  
 $\lambda_2 = 15$  mm

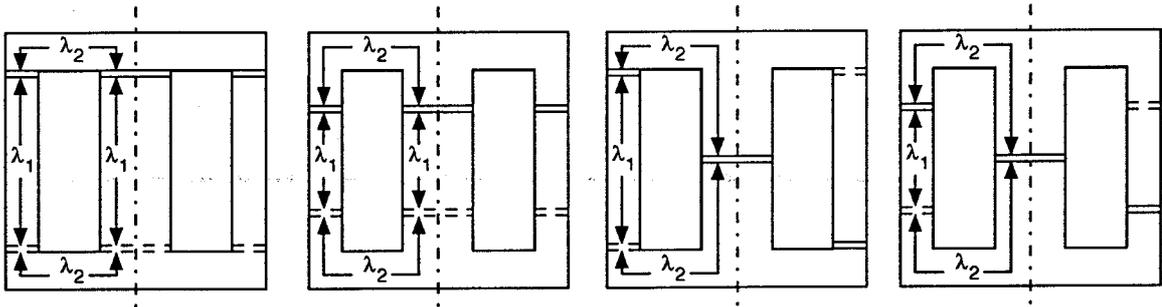
Using equation 1 of 8.3 a):

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

##### d) Minimum specified value for $\mu_{\text{lam}}$ (min)

Hence, in accordance with 8.3 b):

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



YEI

Figure 1

YEE  
YEL

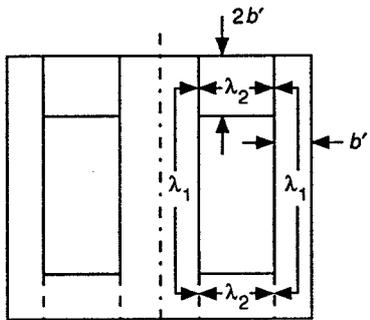
Figure 2

YEF2  
YEF3

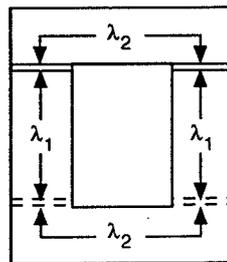
Figure 3

YEF4

Figure 4

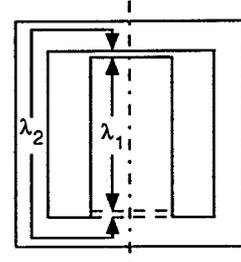


YED (largeurs  $b'$  et  $2b'$ )  
YES ( $b'$  aussi au lieu de  $2b'$   
pour l'étrier)  
Figure 5



YUI

Figure 6



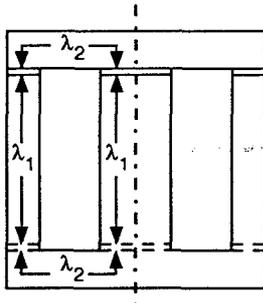
YM

Figure 7

$\lambda_1, \lambda_2$ : longueurs de recouvrement

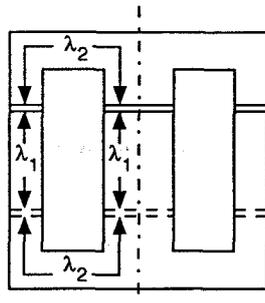
$b'$ : largeur de certaines jambes extérieures

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



YEI

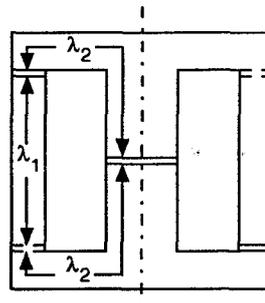
Figure 1



YEE

YEL

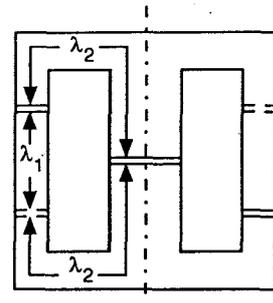
Figure 2



YEF2

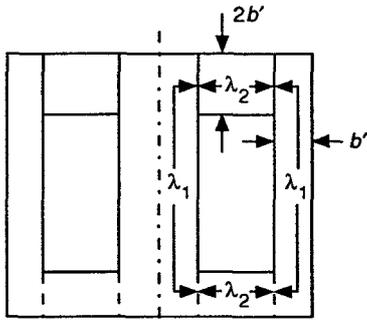
YEF3

Figure 3



YEF4

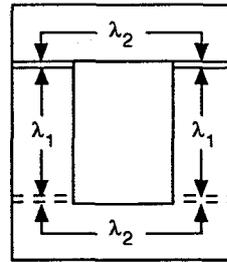
Figure 4



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

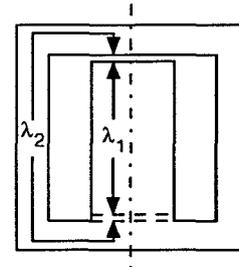
YES ( $b'$  also for the yoke instead of  $2b'$ )

Figure 5



YUI

Figure 6



YM

Figure 7

$\lambda_1, \lambda_2$ : 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")

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE  
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

---

**ICS 29.100.10**

---