

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Laminations for transformers and inductors –
Part 1: Mechanical and electrical characteristics**

**Tôles découpées pour transformateurs et inductances –
Partie 1: Caractéristiques électriques et mécaniques**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60740-1:2005



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2005 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

The IEC on-line Catalogue enables you to search by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details twice a month all new publications released. Available on-line and also by email.

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00



IEC 60740-1

Edition 1.0 2005-08

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Laminations for transformers and inductors –
Part 1: Mechanical and electrical characteristics**

**Tôles découpées pour transformateurs et inductances –
Partie 1: Caractéristiques électriques et mécaniques**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

XA

ICS 29.100.10

ISBN 978-2-88912-783-2

CONTENTS

FOREWORD	6
1 Scope	8
2 Normative references	8
3 Terms, definitions and symbols.....	9
4 Materials and lamination thicknesses.....	13
4.1 Materials	13
4.2 Nominal lamination thickness.....	13
4.3 Minimum stacking factor	14
5 Designation of laminations and lamination strips	14
5.1 Specified complete shapes	14
5.2 Lamination strips for specified shapes	15
5.3 Lamination strips for non-specified laminations	16
6 Packing and marking	16
7 Electrical tests.....	16
7.1 General.....	16
7.2 Core constants	16
7.3 Magnetic path length	17
7.4 Core cross-section	17
8 General conditions for electrical measurements.....	18
8.1 Atmospheric conditions.....	18
8.2 Test coils	18
8.3 Test cores	18
8.4 Harmonic content of the voltage	18
9 Measurements at high field strength	18
9.1 General.....	18
9.2 Measurement of power loss	19
9.3 Measurement of total apparent power	21
10 Measurements at low and medium field strength	22
10.1 General.....	22
10.2 Measurement of amplitude permeability	22
11 Preferred ranges of laminations	23
12 Dimensions and tolerances.....	24
12.1 Dimensions	24
12.2 Tolerances	24
12.3 Symmetry tolerances	25
13 Dimensions and effective parameters	25
13.1 General.....	25
13.2 Lamination strips Type YS	25
13.3 Laminations Type YEI 1	26
13.4 Laminations Type YUI 1.....	27
13.5 Lamination Types YUI 2.....	30
13.6 Lamination Types YEx 2, YEE 2 and YEI 2	32
13.7 Lamination Types YEE 2-..L	33
13.8 Lamination Types YEx 3, YEE 3, YEF 3, YEI 3 and YEL 3	35

13.9 Lamination Types YEx 4, YEE 4 and YEF 4	36
13.10 Laminations Type YM 1	38
14 Electrical characteristics for materials	39
15 Specific total apparent power for laminations	40
16 Specific power loss for laminations	41
17 Mechanical characteristics for laminations	42
17.1 General appearance and conditions	42
17.2 Cut and punch edge	42
17.3 Camber	43
17.4 Distortion	43
17.5 Bending	43
17.6 Insulation	43
17.7 Welding	44
Annex A (informative) Conversion of polarisation and field strength into specific total apparent power	45
A.1 Specific total apparent power from polarisation and field strength	45
A.2 Equations for the curves of the magnetic materials	49
A.3 Constants for non-oriented silicon steel C 21	50
A.4 Specific reactive power and specific power loss for non-oriented silicon steel C 21	52
A.5 Constants for grain-oriented silicon steel C 22	54
A.6 Specific reactive power and specific power loss for grain-oriented silicon steel C 22	56
A.7 Influence of the shape on the electrical characteristics for grain-oriented silicon steel C 22 ..	58
Bibliography	59
Figure 1 – Measurements at high field strength, direct and indirect method, single-phase cores	20
Figure 2 – Measurements at high field strength, direct method, three-phase cores	21
Figure 3 – Measurements at low and medium field strength	23
Figure 4 – Lamination strips Type YS, dimensions and tolerances	25
Figure 5 – Laminations Type YEI 1, dimensions	26
Figure 6 – Laminations Type YUI 1, dimensions	28
Figure 7 – Layer plan for the lamination strip shapes Type YSUI 1	29
Figure 8 – Laminations Type YUI 2, dimensions	30
Figure 9 – Layer plan for the lamination strip shapes Type YSUI 2	32
Figure 10 – Laminations Type YEx 2, dimensions	32
Figure 11 – Laminations Type YEE 2-..L, using two long E parts, dimensions	34
Figure 12 – Laminations Type YEx 3, dimensions	35
Figure 13 – Laminations Type YEx 4, dimensions	36
Figure 14 – Laminations Type YM 1, dimensions	38
Figure 15 – Definition and limit of camber	43
Figure 16 – Definition and limit of distortion	43
Figure 17 – Definition and limit of bending	43
Figure A.1 – Specific total apparent power for non-oriented silicon steel C 21	48

Table 1 – Preferred magnetic steel and alloys used for laminations	13
Table 2 – Material and lamination thickness	13
Table 3 – Tolerance of the thickness of laminations	14
Table 4 – Lamination thickness and stacking factor	14
Table 5 – Test conditions for the materials C 21, C 22 and F 1 for power loss and total apparent power	19
Table 6 – Conditions for the measurement of amplitude permeability of cores using laminations of silicon steel	22
Table 7 – Conditions for the measurement of amplitude permeability of cores using laminations of nickel-iron alloys	23
Table 8 – Summary of preferred shapes	24
Table 9 – Tolerance according to ISO 286-1	24
Table 10 – Tolerances for lamination strips	25
Table 11 – Laminations Type YEI 1, relation factor of dimensions and tolerances	27
Table 12 – Laminations Type YEI 1, diameter of the holes and tolerance factor x	27
Table 13 – Laminations Type YUI 1, relation of dimensions and tolerances	28
Table 14 – Laminations Type YUI 1, diameter of the holes and tolerance factor x	29
Table 15 – Laminations Type YUI 2, relation of dimensions and tolerances	31
Table 16 – Laminations Type YUI 2, diameter of the holes and tolerance factor x	31
Table 17 – Laminations Type YEx 2, dimensions and tolerances	33
Table 18 – Laminations Type YEx 2, effective parameters	33
Table 19 – Laminations Type YEE 2-..L, using two long E parts, dimensions and tolerances	34
Table 20 – Laminations Type YEE 2-..L, using two long E parts effective parameters	35
Table 21 – Laminations Type YEx 3, dimensions and tolerances	35
Table 22 – Laminations Type YEx 3, effective parameters	36
Table 23 – Laminations Type YEE 4, dimensions and tolerances	37
Table 24 – Laminations Type YEF 4, dimensions and tolerances	37
Table 25 – Laminations Type YEx 4, effective parameters	37
Table 26 – Laminations Type YM 1, dimensions and tolerances	38
Table 27 – Laminations Type YM 1, effective parameters	39
Table 28 – Materials from IEC 60404-8-4 and IEC 60404-8-7 and Table 1. Characteristics for the electrical steel sheet and strips, and laminations for the specific total apparent power p_{S0} and the specific power loss p_{Fe0}	40
Table 29 – Specific total apparent power p_S in VA/kg for the materials from Table 1 for all types of laminations and limb width	41
Table 30 – Specific power loss p_{Fe} in W/kg for the materials from Table 1 for all types of laminations and limb width	42
Table 31 – Insulation resistance of coated surface of laminations made from material according to Table 1	44
Table 32 – Approximate values for the test of welding for laminations from materials C 21 and C 22	44
Table A.1 – Data for the specific total apparent power and the specific power loss for C 21 and C 22 materials	47
Table A.2 – Constants for the specific reactive power of non-oriented silicon steel C 21	50

Table A.3 – Constants for the specific power loss of non-oriented silicon steel C 21.....	51
Table A.4 – Specific reactive power for non-oriented silicon steel C 21.....	52
Table A.5 – Specific power loss for non-oriented silicon steel C 21.....	53
Table A.6 – Constants for the specific reactive power of grain-oriented silicon steel C 22.....	54
Table A.7 – Constants for the specific power loss of grain-oriented silicon steel C 22.....	55
Table A.8 – Specific reactive power for grain-oriented silicon steel C 22.....	56
Table A.9 – Specific power loss for grain-oriented silicon steel C22.....	57
Table A.10 – Parts of the magnetic path in rolling direction I_W / I_{Fe} and perpendicular to the rolling direction I_q / I_{Fe} for laminations of 13.3 to 13.10.....	58

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60740-1:2005

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

LAMINATIONS FOR TRANSFORMERS AND INDUCTORS –

Part 1: Mechanical and electrical characteristics

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). 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. 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 IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60740-1 has been prepared by IEC technical committee 51: Magnetic components and ferrite materials.

IEC 60740-1 cancels and replaces IEC 60740 published in 1982 and its amendment 1 (1991). The main changes are listed below:

- a) ranges with lamination strips YS, YSUI 1, YSUI 2 and laminations YEE 2-...L added;
- b) range YEI 1 extended at the above end;
- c) ranges YED 2, YEF 2, YEL 2, YES 2, Type YM 1-5a and YM 1-7a cancelled;
- d) national designations cancelled;
- e) electrical characteristics for the laminations specified;
- f) mechanical characteristics for laminations added;
- g) holes added for lamination types YEI 1, YUI 1, YUI 2, YM 1;
- h) in Annex A, a conversion of the polarisation $\hat{J}$ and the field strength $\hat{H}$ in a specific total apparent power is defined. For the characteristics of the reactive power and the power loss, equations and constants are specified.

This bilingual version (2011-11) corresponds to the monolingual English version, published in 2005-08.

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

FDIS	Report on voting
51/823/FDIS	51/836/RVD

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

The French version of this standard has not been voted upon.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

IEC 60740 consists of the following parts under the general title *Laminations for transformers and inductors*:

Part 1: Mechanical and electrical characteristics

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

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

LAMINATIONS FOR TRANSFORMERS AND INDUCTORS –

Part 1: Mechanical and electrical characteristics

1 Scope

This part of IEC 60740 specifies the characteristics of laminations. Their preferred use is cores for transformers and inductors. The laminations are made of sheets and strips of magnetic materials, specified in IEC 60404-8-4 and IEC 60404-8-7.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

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

IEC 60404-1:2000, *Magnetic materials – Part 1: Classification*

IEC 60404-8-4:1998, *Magnetic materials – Part 8-4: Specifications for individual materials – Cold-rolled non-oriented electrical steel sheet and strip delivered in the fully-processed state*

IEC 60404-8-7:1998, *Magnetic materials – Part 8-7: Specifications for individual materials – Cold-rolled grain-oriented electrical steel sheet and strip delivered in the fully-processed state*

IEC 60404-11:1999, *Magnetic materials – Part 11: Method of test for the determination of surface insulation resistance of magnetic sheet and strip*

IEC 61021-1:1990, *Laminated core packages for transformers and inductors used in telecommunication and electronic equipment – Part 1: Dimensions*

IEC 61021-2:1995, *Laminated core packages for transformers and inductors used in telecommunication and electronic equipment – Part 2: Electrical characteristics for cores using YEE 2 laminations*

ISO 286-1:1988, *ISO system of limits and fits – Part 1: Bases of tolerances, deviations and fits*

3 Terms, definitions and symbols

For the purposes of this document, the definitions of IEC 60050-221 and the following apply.

3.1

lamination

produced from a magnetic alloy sheet, usually consisting of one piece or several joined pieces, forming one complete layer of a laminated core

3.2

lamination strip

produced from a magnetic alloy sheet, which can be composed to a layer of laminations or stacks for limbs or yokes

3.3

square stack

results, if the height of the package h_p is equal to the limb width d .

3.4

specific power loss

loss of the core in an alternating field with specified frequency and sinusoidal waveform, generating a specified flux density divided by the core mass:

$$p_{Fe} = \frac{P_{Fe}}{m_{Fe}} \quad (1)$$

where

p_{Fe} is the specific power loss, in W/kg;

P_{Fe} is the power loss, in W;

m_{Fe} is the core mass, in kg.

NOTE 1 In the power loss both the hysteresis loss and eddy current loss are included.

NOTE 2 This is valid for cores with and without an air gap in the magnetic path.

3.5

specific reactive power

reactive power of the core in an alternating field by specified frequency and sinusoidal, specified flux density divided by the core mass:

$$p_{BFe} = \frac{P_{BFe}}{m_{Fe}} \quad (2)$$

where

p_{BFe} is the specific reactive power, in VA/kg;

P_{BFe} is the reactive power, in VA;

m_{Fe} is the core mass, in kg.

3.6

specific reactive power of the air gap

in an alternating field and sinusoidal, specified flux density is the r.m.s. reactive power in the air gap, divided by the core mass:

$$p_{BL} = 0,25 \cdot \frac{l_L \cdot f \cdot \hat{B}^2}{l_{Fe} \cdot \rho} \quad (3)$$

where

p_{BL} is the specific reactive power of the air gap, in VA/kg;

$\hat{B}$ is the peak flux density, in T;

f is the frequency, in Hz;

ρ is the density of the core, in kg/dm³;

l_L is the length of the air gap, in μm ;

l_{Fe} is the path length, in cm.

3.7

specific total apparent power of cores without air gap

in the mean flux path, the specific total apparent power consists of the specific reactive power and the specific power loss of the core and is the product of sinusoidal voltage and r.m.s. current divided by the core mass:

$$p_S = \sqrt{p_{BFe}^2 + p_{Fe}^2} \quad (4)$$

$$p_S = \frac{U \cdot I}{m_{Fe}} = \frac{P_S}{m_{Fe}} \quad (5)$$

where

P_S is the total apparent power, in VA;

p_S is the specific total apparent power, in VA/kg;

p_{BFe} is the specific reactive power, in VA/kg;

p_{Fe} is the specific power loss, in W/kg;

U is the voltage, in V;

I is the r.m.s. current, in A;

m_{Fe} is the core mass, in kg.

3.8

specific total apparent power of cores with air gap

in the mean flux path, the specific total apparent power consists of the specific reactive power of the core, the specific reactive power of the air gap and the specific power loss:

$$P_S = \sqrt{(p_{BFe} + p_{BL})^2 + p_{Fe}^2} \quad (6)$$

where

- p_S is the specific total apparent power, in VA/kg;
 p_{BFe} is the specific reactive power of the core, in VA/kg;
 p_{BL} is the specific reactive power of the air gap, in VA/kg;
 p_{Fe} is the specific power loss, in W/kg.

3.9

magnetic path length

arithmetic mean of the longest and the shortest path length of the core neglecting radii.

NOTE For details of the calculation for each core, see 13.3 to 13.10.

3.10 Symbols

- A_{Fe} core cross-section, in mm²;
 $\hat{B}$ peak flux density, in T;
 $\hat{B}_n$ nominal peak flux density, in T;
 $\hat{B}_0$ peak flux density for the characteristic of the specific reactive power, in dT;
 C_1 core constant 1, in mm⁻¹;
 C_2 core constant 2, in mm⁻³;
 c_1, c_2 constants for the characteristic of the specific reactive power;
 c_3, c_4 constants for the characteristic of the specific power loss;
 d limb width, in mm;
 f frequency, in Hz;
 $\hat{H}$ peak field strength, in A/m;
 h_p stack height, in mm;
 I current, in A;
 I_1, I_2, I_3 currents in the phases of three-phase cores, in A;
 $\hat{J}$ peak polarisation, in T;
 l magnetic path length, in mm;
 l_{Fe} magnetic path length, in mm;
 l_{Fe1}, l_{Fe2} magnetic path lengths for three-phase cores, in mm;
 l_L path length of the air gap, in μ m;
 l_q magnetic path length cross to the rolling direction, in mm;
 l_w magnetic path length in rolling direction, in mm;
 m_{Fe} core mass, in kg;
 N number of turns;
 N_1 number of turns of winding N_1 ;
 N_2 number of turns of winding N_2 ;
 P_1, P_2, P_3 power loss in the phases of three-phase cores, in W;
 P_{BFe} reactive power of the core, in VA;
 P_{BL} reactive power of the air gap, in VA;
 P_{Fe} power loss, in W;

P_m	test value of the power loss, in W;
P_S	total apparent power, in VA;
p_B	specific reactive power, in VA/kg;
p_{BFe}	specific reactive power of the core, in VA/kg;
p_{BL}	specific reactive power of the air gap, in VA/kg;
p_{Fe}	specific power loss; in W/kg;
p_{Fe0}	cardinal value for the specific power loss, in W/kg;
p_S	specific total apparent power, in VA/kg;
p_{S0}	cardinal value of the total apparent power, in VA/kg;
$p_{S, \sin}$	specific total apparent power at sinusoidal current; in VA/kg;
R_1	resistance of winding N_1 , in Ω ;
R_2	resistance of winding N_2 , in Ω ;
R_n	precision resistor, in Ω ;
R_V	resistance of the voltmeter, in Ω ;
R_W	resistance of the voltage path of the wattmeter, in Ω ;
U	voltage, in V;
U_1	voltage of the source, in V;
$U_{2 \text{ r.m.s}}$	voltage of the winding N_2 , in V;
$U_{2 \text{ avg}}$	voltage of the winding N_2 , in V;
$\hat{U}_n$	peak value of the voltage across R_n , in V;
V_{Fe}	core volume, in mm^3 ;
x	tolerance factor;
y	auxiliary value for the characteristics of the specific reactive power;
y_1, y_2	constants for the characteristics of the specific reactive power;
y_3	constant for the characteristics of the specific power loss;
η	stacking factor;
μ_0	magnetic constant, in H/cm ($4 \cdot \pi \cdot 10^{-9}$ H/cm);
μ_a	amplitude permeability;
μ_i	initial permeability;
π	in this standard = 3,1416;
ρ	the density of the core alloy, in kg/dm^3 .

4 Materials and lamination thicknesses

4.1 Materials

Laminations are made from one of the materials specified in Table 1.

Table 1 – Preferred magnetic steel and alloys used for laminations

Material	Approximate composition in addition to iron	Density kg/dm ³	Designation	
			IEC 60404-1	IEC 60404-8-4 IEC 60404-8-7
Non-oriented silicon steel	1 % to 3 % silicon	7,65	C 21	M 270-35A 5 M 330-35A 5 M 330-50A 5
		7,7		M 400-50A 5 M 530-50A 5
		7,8		M 800-50A 5
Grain-oriented silicon steel	3,2 % silicon	7,65	C 22	M 165-35S 5
Nickel-iron alloys	72 % to 83 % nickel	8,7	E 1	_____
	45 % to 50 % nickel (both oriented and non-oriented)	8,25	E 3	
	35 % to 40 % nickel	8,15	E 4	
Cobalt-iron alloys	47 % to 50 % cobalt (isotropic)		F 1	

4.2 Nominal lamination thickness

Lamination thickness shall be selected from one of the values specified in Table 2, according to the material in use.

Table 2 – Material and lamination thickness

Material designation	Thickness						
	mm						
	0,5	0,38	0,35	0,3	0,2	0,1	0,05
C 21	o	-	o	-	-	-	-
C 22	-	-	o	-	-	-	-
E 1	-	x	x	o	o	o	x
E 3 non-oriented	-	x	x	o	o	o	x
E 3 grain-oriented	-	-	-	-	-	o	x
E 4	-	x	x	o	o	o	x
F 1	-	-	x	o	o	o	x

NOTE o: preferred value, x: usual, -: not usual.

The allowed tolerance of the thickness of the laminations in Table 3 is corresponding to the appropriate value taken from IEC 60404-8-4 and IEC 60404-8-7.

Table 3 – Tolerance of the thickness of laminations

Material designation	Tolerances mm	
	Thickness 0,5 mm	Thickness 0,35 mm
C 21	± 0,04	± 0,028
C 22	-	± 0,03

4.3 Minimum stacking factor

The minimum stacking factor η for usual materials and thickness shall be not lower than the values shown in Table 4. They are valid for uniform stacks with a minimum height of 10 mm subjected to a uniform pressure of 15 kN/m² perpendicular to the lamination.

Table 4 – Lamination thickness and stacking factor

Lamination thickness mm	Minimum stacking factor η		
	Non-oriented silicon steel C 21	Grain oriented silicon steel C 22	Nickel-iron and cobalt-iron alloys E, F
0,5	0,95	–	–
0,35	0,94	0,95	0,94
0,30	–	–	0,92
0,20	-	–	0,9
0,10	0,9	0,9	0,85
0,05	-	0,88	0,8

5 Designation of laminations and lamination strips

The designation contains all information needed to describe the laminations sufficiently and unmistakably.

5.1 Specified complete shapes

5.1.1 Lamination outline shapes

LAM IEC 60740-1 YUI 1-50 H M 530-50A 5

Lamination	
Number of this specification	
Sign, that this designation is different from eventual used national designations	
Shape and size according to 13.3 to 13.10	
Sign for holes, H with holes, X without holes	
Material in accordance with Table 1	

5.1.2 Specified shape with lamination strips

LAM IEC 60740-1 YSUI 1-50 X M 165-35S 5

	Lamination
	Number of this standard
	Sign, that this designation is different from eventual used national designations
	Sign, that the shape is made of lamination strips
	Shape and size according to 13.4.2 or 13.5.2
	Sign for holes, H with holes, X without holes
	Material in accordance with Table 1

IEG 1196/05

5.2 Lamination strips for specified shapes

5.2.1 Lamination strips for yokes

LAM IEC 60740-1 YSUI 1-50 Y X M 165-35S 5

[illegible]

IEC 1197/05

5.2.2 Lamination strips for limbs

LAM IEC 60740-1 YSUI 1-50 L X M 165-35S 5

	Lamination
	Number of this standard
	Sign, that this designation is different from eventual used national designations
	Sign, that the shape is made of lamination strips
	Shape and size according to 13.4.2 or 13.5.2
	Sign for lamination strips for limbs
	Sign for holes, H with holes, X without holes
	Material in accordance with Table 1

IFC 1198/05

LAM IEC 60740-1 YS100 × 500 X M 165-35S 5

	Lamination
	Number of this standard
	Sign, that this designation is different from eventual used national designations
	Lamination strips according to 13.2
	Width of the lamination strip in mm
	Length of the lamination strip in mm
	Sign for holes, H with holes, X without holes
	Material in accordance with Table 1

IEC 1199/05

The laminations shall be packed for transit in such a manner that no deterioration will occur. Unless otherwise specified, all parts designing a layer of lamination shall be packed in one packaging unit.

- lamination designation;
- quantity by mass or by number;
- the manufacturer's lot identification or date of manufacture;
- manufacturer.

- lamination: LAM IEC 60740-1 YEI 1-40 H M 330-35A 5
- quantity:
- date of manufacture:
- manufacturer:

7.1 General

7.2 Core constants

$$C_1 = \frac{l_{\text{Fe}}}{A_{\text{Fe}}} \quad (7)$$

$$C_2 = \frac{l_{\text{Fe}}}{A_{\text{Fe}}^2} \quad (8)$$

where

C_1 is the core constant 1, in mm^{-1} ;

C_2 is the core constant 2, in mm^{-3} ;

l_{Fe} is the magnetic path length, in mm, calculated as in 7.3;

A_{Fe} is the core cross-section, in mm^2 , taking into account the stacking factor η , see 7.4.

Further, the core volume, in mm^3 , and the core mass, in kg, are calculated as follows:

$$V_{\text{Fe}} = l_{\text{Fe}} \cdot A_{\text{Fe}} \quad (9)$$

$$m_{\text{Fe}} = V_{\text{Fe}} \cdot \rho \quad (10)$$

where ρ is the density of the alloy, in kg/dm^3 .

The effective parameters of laminated cores with square cross-section and a stacking factor of 0,95 are shown in Tables 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26 and 27. For the laminations in 13.3, 13.4.1 and 13.5.1 the equations for the core constants are given subsequent to the associated tables.

7.3 Magnetic path length

The magnetic path length l_{Fe} is calculated as the arithmetic mean of the longest and the shortest path length of the core neglecting radii.

NOTE For details on the calculation for each core, see 13.3, 13.4.1 and 13.5.1.

7.4 Core cross-section

The core cross-section is calculated as the product of (centre) limb width, stack height and stacking factor:

$$A_{\text{Fe}} = d \cdot h_p \cdot \eta \quad (11)$$

where

A_{Fe} is the core cross-section, in mm^2 ;

d is the limb width, in mm;

h_p is the stack height, in mm;

η is the stacking factor.

For cores with square stack ($h_p = d$) shown in Tables 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26 and 27 and with $\eta = 0,95$, the core cross-section is:

$$A_{\text{Fe}} = 0,95 \cdot d^2 \quad (12)$$

For other stack heights and stacking factors differing from Table 4, the values for A_{Fe} and C_1 shall be corrected by multiplying with the following factors:

The factor for A_{Fe} is:

$$\frac{h_p \cdot \eta}{d \cdot 0,95}$$

The factor for C_1 is:

$$\frac{d \cdot 0,95}{h_p \cdot \eta}$$

NOTE Alternatively, for a given core stack, the core cross-section may be determined as follows:

For YEI, YEx, YUI and YM:

$$A_{Fe} = \frac{m_{Fe}}{l_{Fe} \cdot \rho} \quad (13)$$

8 General conditions for electrical measurements

8.1 Atmospheric conditions

Unless otherwise stated, all tests shall be carried out at room temperature.

8.2 Test coils

The electrical tests in Clauses 15 and 16 are valid for the square stack. The stack height of the test coil and of the core may be changed, if the values are not changed. However, the test coils shall be suitable to the stack of laminations to be tested. The voltage winding N_2 shall be the inner winding and be as close as possible to the core, and its resistance R_2 shall be small compared to the resistance of its load.

The resistance in the supply circuit, including the coil resistance R_1 and the resistance of the current measuring device (current meter, current amplifier or precision resistor), shall be small, so that they do not result in any appreciable distortion of the voltage.

8.3 Test cores

The laminations shall physically be in accordance with the requirements of Clauses 4 and 13 and shall be selected at random from those which are fully processed for the end application. They shall be interleaved as a stack and shall consist of equal numbers of all necessary parts designing a complete layer of lamination.

NOTE Using grain-oriented and non-oriented silicon steel the laminations may be interleaved equilateral. Only in case of arbitration they shall be interleaved one by one throughout the stack.

Test cores made of lamination strips are a matter of agreement between customer and manufacturer.

8.4 Harmonic content of the voltage

In order to obtain comparable results, sinusoidal flux density shall be used for the measurements. During the test, the harmonic content shall not exceed 6 %. Where two voltmeters V_1 and V_2 in Figure 1a are connected in parallel to the winding N_2 , the first one is measuring the r.m.s. value and the second one is measuring the average value. The form factor shall be calculated from the ratio of the r.m.s. value to the average value. If this form factor is between 1,10 and 1,12 and at the same time the wave-shape as observed on the oscilloscope does not show obvious distortion, the harmonic content of the secondary voltage across the winding N_2 and hence of the flux density will be sufficiently small.

9 Measurements at high field strength

9.1 General

One of the circuits of Figure 1a, Figure 1b or Figure 2 shall be used. The test conditions shall be in accordance with the values specified in Table 5. Test certificates for lots of delivery are a matter of agreement between customer and manufacturer.

Table 5 – Test conditions for the materials C 21, C 22 and F 1 for power loss and total apparent power

Material designation	Thickness mm	Frequency Hz	Peak flux density T
Non-oriented silicon steel C 21	0,35 and 0,5	50 or 60	1,5
	0,1	400	1,0
Grain-oriented silicon steel C 22	0,35	50 or 60	1,7
	0,1 and 0,15	400	1,0
Cobalt-iron alloys F 1	0,2 and 0,35	50 or 60	2,0
	0,1	400	1,7

For the following equations the following symbols are used:

U_2	is the voltage on winding N_2 , in V;
f	is the frequency, in Hz;
$\hat{B}$	is the peak flux density, in T;
A_{Fe}	is the core cross-section, in mm ² (see 7.4);
I	is the current, in A;
I_1, I_2, I_3	currents in the phases of three-phase cores, in A;
m_{Fe}	is the core mass, in kg;
N_1	is the number of turns of the winding N_1 ;
N_2	is the number of turns of the winding N_2 ;
P_{Fe}	is the power loss, in W;
P_m	is the test value of power loss, in W;
P_S	is the total apparent power, in VA;
P_1, P_2, P_3	is the power loss in the phases of three-phase cores, in W;
R_2	is the resistance of the winding N_2 , in Ω ;
R_V	is the resistance of the voltmeter V_2 , in Ω ;
R_W	is the resistance of the voltage winding of the wattmeter, in Ω .

9.2 Measurement of power loss

9.2.1 Power loss for single-phase cores

Where the circuit of Figure 1a is used, both switches are closed for the determination of the form factor (see 8.4). Switch S_1 is then opened and the source voltage U_1 is adjusted so that the reading of the secondary voltage U_2 on the average sensing voltmeter V_2 has the value calculated from the following equation:

$$U_2 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{\sqrt{2}} \cdot A_{Fe} \cdot \hat{B} \cdot N_2 \cdot \frac{1}{1 + R_2 \cdot \left(\frac{1}{R_V} + \frac{1}{R_W} \right)} \quad (14)$$

With switch S_1 open and switch S_2 closed, the wattmeter is read. Neglecting the copper losses in winding N_1 and in the ammeter, the power loss P_{Fe} are calculated with the following equation from the measured power loss P_m :

$$P_{Fe} = \left[P_m \cdot \frac{N_1}{N_2} - U_2^2 \cdot \left(\frac{1}{R_V} + \frac{1}{R_W} \right) \right] \cdot \left[1 + R_2 \cdot \left(\frac{1}{R_V} + \frac{1}{R_W} \right) \right] \quad (15)$$

NOTE 1 The result of the measurement is often expressed in terms of specific power loss $p_{Fe} = \frac{P_{Fe}}{m_{Fe}}$, in W/kg.

Where instruments incorporating linear preamplifiers (see Figure 1b) or similar devices with very high input impedance are used for voltage measurements, and with direct reading of the actual values of voltage and power, these equations are reduced to the expressions:

$$U_2 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{\sqrt{2}} \cdot A_{Fe} \cdot \hat{B} \cdot N_2 \quad (16)$$

$$P_{Fe} = P_m \cdot \frac{N_1}{N_2} \quad (17)$$

NOTE 2 Where these impedances are not extremely high, but still much higher than R_2 , the following simplified equation may be used:

$$P_{Fe} = P_m \cdot \frac{N_1}{N_2} - U_2^2 \cdot \left(\frac{1}{R_V} + \frac{1}{R_W} \right) \quad (18)$$

Where no direct reading is possible, for example if external preamplifiers are used, the gains of these amplifiers shall be taken into account.

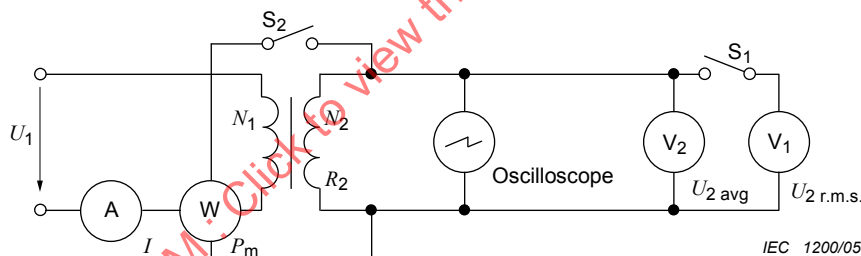


Figure 1a – Direct method

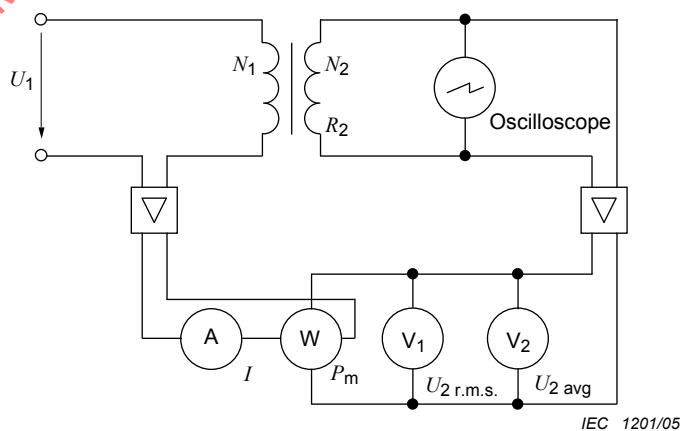


Figure 1b – Indirect method

Figure 1 – Measurements at high field strength, direct and indirect method, single-phase cores

9.2.2 Power loss for three-phase cores

The power loss in three-phase cores shall be measured with three watt meters using the circuit as shown in Figure 2. The induced secondary voltage shall be measured at the secondary winding of the middle limb. The total power loss are the sum of the three phases regarding the correct algebraic sign.

$$P_{Fe} = P_1 + P_2 + P_3 \quad (19)$$

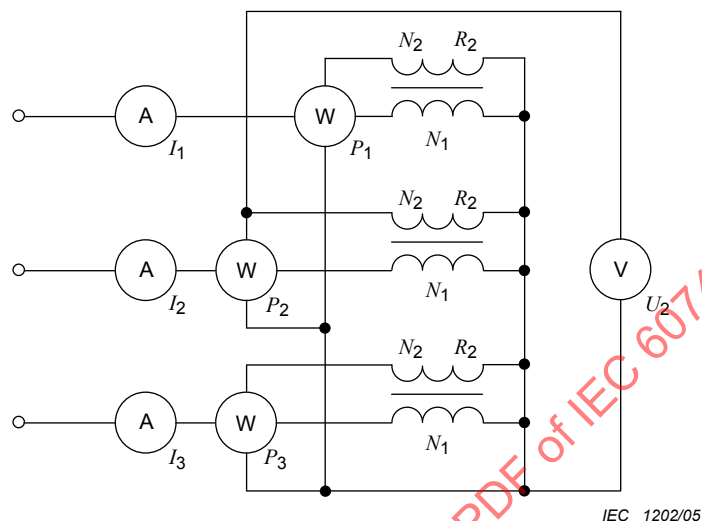


Figure 2 – Measurements at high field strength, direct method, three-phase cores

9.3 Measurement of total apparent power

9.3.1 Total apparent power for single-phase cores

Where the circuit of Figure 1a is used, both switches are closed in order to determine the form factor (see 8.4). Switch S_1 is then opened and the primary voltage adjusted as described in 9.2.1. With both switches S_1 and S_2 open, the primary current I and the secondary voltage U_2 are measured. The total apparent power is calculated using the following equation:

$$P_S = U_2 I \frac{N_1}{N_2} \cdot \frac{R_V + R_2}{R_V} \quad (20)$$

NOTE The result of the measurement is often expressed in terms of specific total apparent power $p_S = P_S / m_{Fe}$, in VA/kg (5).

Where instruments are used which incorporate linear preamplifiers (see Figure 1b) or similar devices with very high input impedance for voltage measurements, and with a direct reading of the actual values of voltage and power, this equation is reduced to the expression:

$$P_S = U_2 I \frac{N_1}{N_2} \quad (21)$$

Where no direct reading is possible, for example external preamplifiers are used, the gains of these amplifiers shall be taken into account.

9.3.2 Total apparent power for three-phase cores

The total apparent power for three-phase cores shall be measured as shown in Figure 2 and is calculated as the sum of the three currents multiplied with the voltage U_2 :

$$P_S = U_2 (I_1 + I_2 + I_3) \quad (22)$$

10 Measurements at low and medium field strength

10.1 General

The circuit of Figure 3 shall be used. The measuring conditions shall be taken from the values specified in Table 6 and Table 7. Test certificates for lots of delivery are a matter of agreement between customer and manufacturer.

Table 6 – Conditions for the measurement of amplitude permeability of cores using laminations of silicon steel

Thickness mm	Frequency Hz	Peak flux density T
0,05 up to 0,5	50 or 60	0,1 or 1,0

For the following equations the following symbols are used:

- A_{Fe} is the core cross-section, in mm^2 (see 7.4);
- $\hat{B}$ is the peak flux density, in T;
- C_1 is the core constant 1, in cm^{-1} (see 7.2);
- f is the frequency, in Hz;
- $\hat{H}$ is the peak field strength, in A/m;
- μ_0 is the magnetic constant, in H/cm ($4 \cdot \pi \cdot 10^{-9}$ H/cm);
- μ_a is the amplitude permeability;
- N_1 is the number of turns of the winding N_1 ;
- N_2 is the number of turns of the winding N_2 ;
- R_2 is the resistance of the winding N_2 , in Ω ;
- R_n is the resistance of the precision resistor, in Ω ;
- R_V is the resistance of the voltmeter V_2 , in Ω ;
- U_2 is the voltage on winding N_2 , in V;
- $\hat{U}_n$ is the peak value of the voltage across R_n , in V.

10.2 Measurement of amplitude permeability

The primary voltage is adjusted so that the reading of the r.m.s. voltage U_2 on the voltmeter V_2 meets the value calculated from the following equation:

$$U_2 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{\sqrt{2}} \cdot A_{Fe} \cdot \hat{B} \cdot N_2 \cdot \frac{R_V}{R_V + R_2} \quad (23)$$

The peak value $\hat{I}$ of the primary current is measured by means of a peak voltmeter connected across a known precision resistor R_n in the primary circuit or by means of a probe. The amplitude permeability μ_a is calculated from the following equation:

$$\mu_a = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{\hat{B}}{\hat{H}} = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot U_2}{\hat{U}_n} \cdot \frac{C_1}{2 \cdot \pi \cdot f} \cdot \frac{1}{N_1 \cdot N_2} \cdot R_n \cdot \frac{R_V + R_2}{R_V} \quad (24)$$

NOTE 1 For very small currents μ_a tends towards the initial permeability μ_i .

NOTE 2 In some cases, it is convenient to use the complex permeability and its components.

NOTE 3 Specification for the minimum permeability of laminations made of soft magnetic metallic materials, see IEC 60740-2.

Table 7 – Conditions for the measurement of amplitude permeability of cores using laminations of nickel-iron alloys

Material designation	Thickness mm	Preferred frequency Hz			Amplitude of field strength A/m
		50 or 60	300 or 400	1000	
E 1	0,05	x	x	x	0,2 or 0,4
	0,1	x	x	-	
	0,2	x	-	-	
	0,35	x	-	-	
E 3 (both oriented and non- oriented)	0,05	x	x	-	0,4
	0,1	x	x	-	
	0,2	x	-	-	
	0,35	x	-	-	
E 4	0,05	x	x	x	0,4 or 1,6
	0,1	x	x	-	
	0,2	x	-	-	
	0,35	x	-	-	

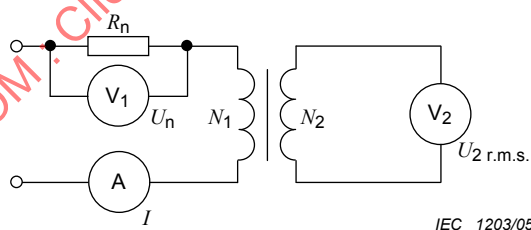


Figure 3 – Measurements at low and medium field strength

11 Preferred ranges of laminations

This clause describes the preferred shapes and ranges of limb width d . Table 8 shows a summary of these shapes and ranges with some general information.

Table 8 – Summary of preferred shapes

Shape	Clause	Limb width <i>d</i> mm	Description
YS	13.2	-	Lamination strips
YEI 1	13.3	10 up to 80	Range, allowing punching without scrap
YUI 1	13.4	10 up to 80	Range, allowing punching without scrap
YUI 2	13.5	10 up to 80	Range, allowing punching without scrap
YEx 2	13.6	2,4 up to 12	Range with small dimensions
YEE 2-..L	13.7	6 up to 12	Range with small dimensions, using two long E parts
YEx 3	13.8	10 up to 40	Range with small dimensions and with large window area
YEx 4	13.9	2,4 up to 12	Range with small dimensions and small mounting area
YM 1	13.10	5 up to 34	Range for laminations with low stray field

12 Dimensions and tolerances

12.1 Dimensions

The dimensions, or relation of dimensions, and tolerances of the preferred ranges of laminations are specified in the tables shown in 13.3 to 13.10. The tolerance on the lamination thickness is specified in Table 3.

12.2 Tolerances

The tolerances shall be in accordance with the requirements of ISO 286-1. The values corresponding to the reference designations at the head of each column of dimensions in the tables shown in 13.3 to 13.10 are taken from Table 9.

Table 9 – Tolerance according to ISO 286-1

Size range mm	ISO Tolerance code				
	IT 10 μm	IT 11 μm	IT 12 μm	IT 13 μm	IT 14 μm
up to 3	40	60	100	140	250
> 3 up to 6	48	75	120	180	300
> 6 up to 10	58	90	150	220	360
> 10 up to 18	70	110	180	270	430
> 18 up to 30	84	130	210	330	520
> 30 up to 50	100	160	250	390	620
> 50 up to 80	120	190	300	460	740
> 80 up to 120	140	220	350	540	870
> 120 up to 180	160	250	400	630	1000
> 180 up to 250	185	290	460	720	1150
> 250 up to 315	210	320	520	810	1300
> 315 up to 400	230	360	570	890	1400
> 400 up to 500	250	400	630	970	1550

NOTE The tolerance code indicates the value of the tolerance in relation to the nominal dimension.

For example, in Table 17, YEx 2-10:

size $a = 32$ mm with the tolerance IT 12 js = $a \pm 0,5 \times 250 \mu\text{m} = 32 \text{ mm} \pm 0,125 \text{ mm}$;

size $e = 22,4$ mm with the tolerance + IT 11 = $e + 130 \mu\text{m} = 22,4 \text{ mm} + 0,13 \text{ mm}$.

12.3 Symmetry tolerances

The symmetry tolerances of dimensions a and e with respect to the centre line shall not exceed half the tolerance specified for the width of the (centre) limb (dimension d).

13 Dimensions and effective parameters

13.1 General

In the following figures, the direction of rolling is indicated by a double arrow.

Subclauses 13.3 to 13.10 include the dimensions, the tolerances and the effective parameters, with their respective equations. The effective parameters are based on a stacking factor $\eta = 0,95$ and a stack height $h_p = d$. For the calculation, in the case of different stacking factors and heights, see 7.4.

13.2 Lamination strips Type YS

Lamination strips are specified as single strips with the nominal width d and the length a . For square lamination strips, the direction of rolling is to be indicated. Holes are a matter of agreement between customer and manufacturer.

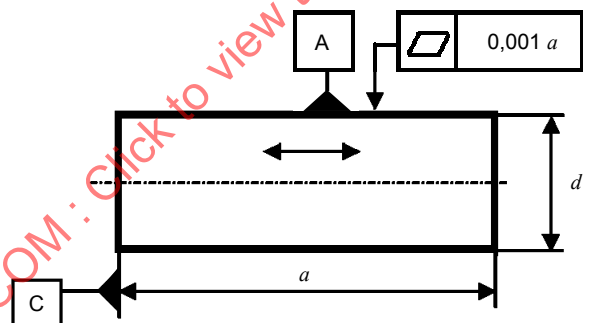


Figure 4 – Lamination strips Type YS, dimensions and tolerances

Table 10 – Tolerances for lamination strips

Length a mm	Tolerance mm	Width d mm	Tolerance mm
≤ 200	+0,25	≤ 150	+0,2
$> 200 \leq 400$	+0,3	$> 150 \leq 250$	+0,4
$> 400 \leq 800$	+0,35	> 250	+0,5
> 800	+0,5		

13.3 Laminations Type YEI 1

Laminations Type YEI 1, sizes from YEI 1-10 to YEI 1-80 are usual, where the numbers 10 to 80 are the nominal width of the centre limb.

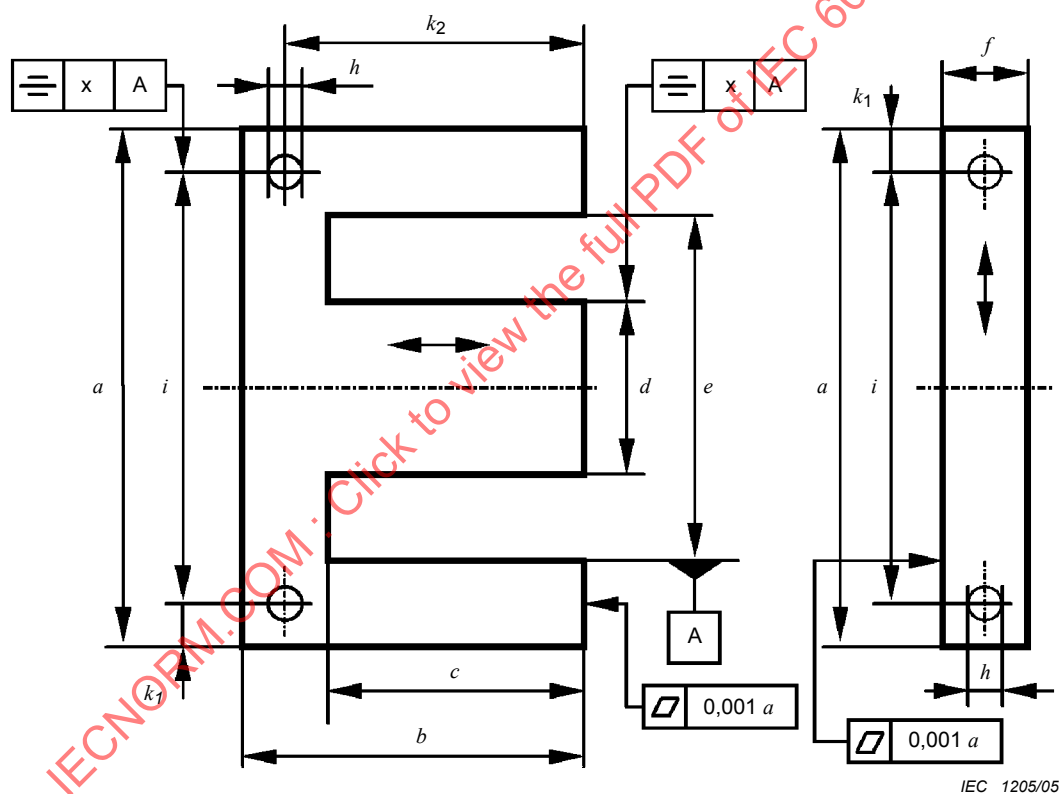
Preferred dimensions d : 10, 13 (YEI 1-13 has a centre limb width 12,8 mm), 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 58, 64, 72 and 80 mm.

For the relation of the other dimensions of the lamination Type YEI 1 to the dimension d , see Table 11.

For the diameter for the holes h and for the tolerance factor x there is no fixed relation to dimension d , these dimensions are according to Table 12 in steps adjusted to dimension d . For representation of the dimensions, see Figure 5.

Laminations without holes are subject to an agreement between customer and manufacturer.

NOTE For laminations Type YEI 1, the coil formers IEC 61797-1, Type YEI 1, may be used.



IEC 1205/05

Figure 5 – Laminations Type YEI 1, dimensions

Table 11 – Laminations Type YEI 1, relation factor of dimensions and tolerances

Dimension	Relation factor	Tolerance code
<i>a</i>	3 <i>d</i>	IT 12 js
<i>b</i>	2 <i>d</i>	IT 12 js
<i>c</i>	1,5 <i>d</i>	IT 12 JS
<i>d</i>	1 <i>d</i>	IT 12 js
<i>e</i>	2 <i>d</i>	IT 12JS
<i>f</i>	0,5 <i>d</i>	IT 12 js
<i>i</i>	2,5 <i>d</i>	IT 12 JS
<i>k</i> ₁	0,25 <i>d</i>	-
<i>k</i> ₂	1,75 <i>d</i>	IT 12 JS

Table 12 – Laminations Type YEI 1, diameter of the holes and tolerance factor *x*

Dimension	Tolerance code	Lamination YEI 1-..., Dimension <i>d</i> mm							
		10 to 13	14 to 16	17 to 20	21 to 28	29 to 36	37 to 45	46 to 59	60 to 80
<i>h</i>	JS 14	-	3,5	3,5	4,5	5,5	6,6	8	10,5
<i>x</i>	-	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,5

The effective parameters are calculated as follows:

$$\text{Core cross-section} \quad A_{\text{Fe}} = a \cdot h_p \cdot \eta, \text{ in mm}^2 \quad (25)$$

$$\text{Magnetic path length} \quad l_{\text{Fe}} = b + c + f + (a + e - d)/2 = 6 \cdot d, \text{ in mm} \quad (26)$$

$$\text{Core volume} \quad V_{\text{Fe}} = A_{\text{Fe}} \cdot l_{\text{Fe}}, \text{ in mm}^3 \quad (27)$$

$$\text{Core constant} \quad C_1 = l_{\text{Fe}} / A_{\text{Fe}}, \text{ in mm}^{-1} \quad (28)$$

where

d is the limb width, in mm;

*h*_p is the stack height, in mm;

η is the stacking factor.

13.4 Laminations Type YUI 1

13.4.1 Lamination outline shapes Type YUI 1

Laminations Type YUI 1, sizes from YUI 1-10 to YUI 1-80 are usual, where the numbers 10 to 80 expresses the approximate width of the limb.

Preferred dimensions *d*: 10, 13, 16, 20, 25, 30, 34, 38, 44, 50, 56, 60, 70 and 80 mm.

For the relation of the other dimensions of the lamination Type YUI 1 to the dimension *d*, see Table 13.

For the diameter for the holes h and for the tolerance factor x there is no fixed relation to dimension d , these dimensions are according to Table 14 in steps adjusted to dimension d . Representation of the dimensions see Figure 6.

Laminations without holes are matter of agreement between customer and manufacturer.

NOTE For laminations Type YUI 1, the coil formers IEC 61797-1, Type YUI 1, may be used.

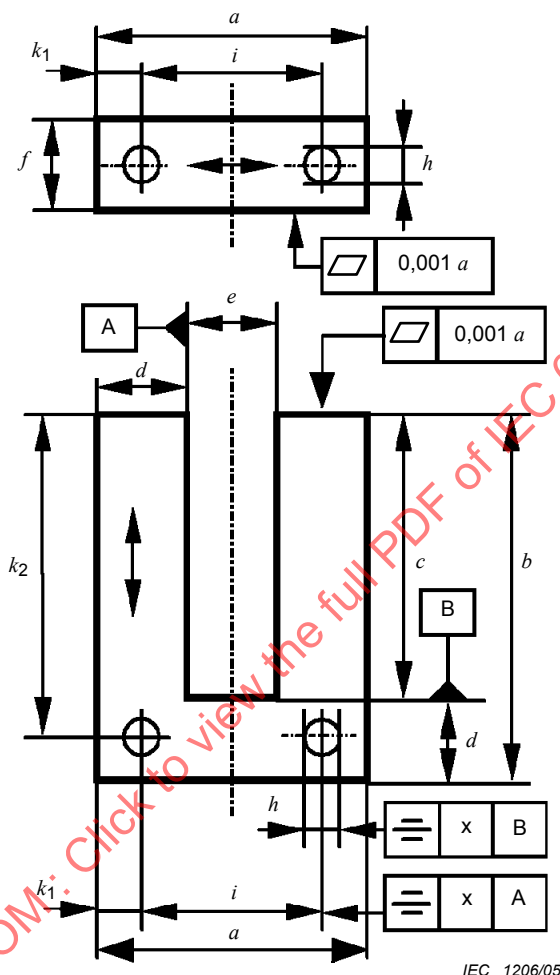


Figure 6 – Laminations Type YUI 1, dimensions

Table 13 – Laminations Type YUI 1, relation of dimensions and tolerances

Dimension	Relation factor	Tolerance code
a	$3 d$	IT 12 js
b	$4 d$	IT 12 js
c	$3 d$	IT 12 JS
d	$1 d$	-
e	$1 d$	IT 12 JS
f	$1 d$	IT 12 js
i	$2 d$	IT 12 JS
k_1	$0,5 d$	-
k_2	$3,5 d$	IT 12 JS

Table 14 – Laminations Type YUI 1, diameter of the holes and tolerance factor x

Dimension	Tolerance code	Lamination YUI 1-... , dimension d mm							
		10 to 14	15 to 19	20 to 24	25 to 29	30 to 37	38 to 43	44 to 60	61 to 80
h	JS 14	3,5	4,5	4,5	5,5	7,8	11	11	15
x	-	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4

The effective parameters are calculated as follows:

$$\text{Core cross-section} \quad A_{Fe} = d \cdot h_p \cdot \eta, \text{ in mm}^2 \quad (29)$$

$$\text{Magnetic path length} \quad l_{Fe} = 2 \cdot b + 2 \cdot (a - d) = 12 \cdot d, \text{ in mm} \quad (30)$$

$$\text{Core volume} \quad V_{Fe} = A_{Fe} \cdot l_{Fe}, \text{ in mm}^3 \quad (31)$$

$$\text{Core constant} \quad C_1 = l_{Fe} / A_{Fe}, \text{ in mm}^{-1} \quad (32)$$

where

d is the width of the limb, in mm;

h_p is the stack height, in mm;

η is the stacking factor.

13.4.2 Lamination strip shape Type YSUI 1

The lamination Type YUI 1 may also be constructed with lamination strips. For the layer plan of the separate strips, see Figure 7. The dimensions and tolerances of the strips are according to the dimensions and tolerances of the outline shapes. As a matter of agreement between customer and manufacturer the strip shapes may be provided with holes (sign H). The size and position of the holes shall be analogous in accordance with the holes in the outline shapes in Figure 6. Other holes are a matter for agreement between customer and manufacturer.

NOTE For lamination strip shapes Type YSUI 1, the coil formers IEC 61797-1, Type YUI 1, may be used.

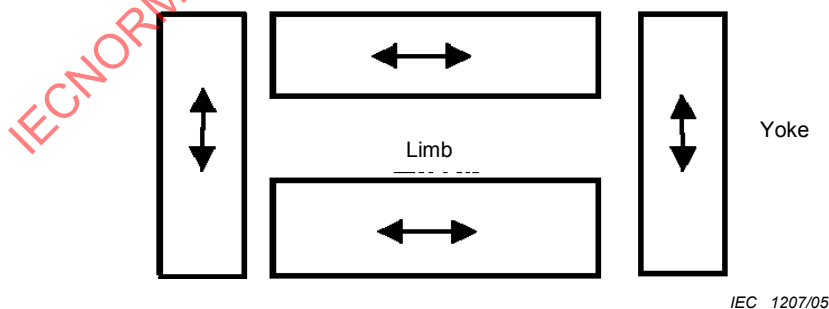


Figure 7 – Layer plan for the lamination strip shapes Type YSUI 1

13.5 Lamination Types YUI 2

13.5.1 Lamination outline shape Type YUI 2

Laminations Type YUI 2, sizes from YUI 2-10 to YUI 2-80 are usual, where the number 10 to 80 expresses the approximate width of the limb.

Preferred dimensions d : 10, 13, 16, 20, 25, 30, 34, 38, 44, 50, 56, 60, 70 and 80 mm.

For the relation of the other dimensions of the lamination Type YUI 2 to the dimension d , see Table 15.

For the diameter for the holes h and for the tolerance factor x , there is no fixed relation to dimension d , these dimensions according to Table 16 in steps are adjusted to dimension d . For representation of the dimensions, see Figure 8.

Laminations without holes are subject to an agreement between customer and manufacturer.

NOTE For laminations Type YUI 2 the coil formers IEC 61797-1, Type YUI 1, may be used.

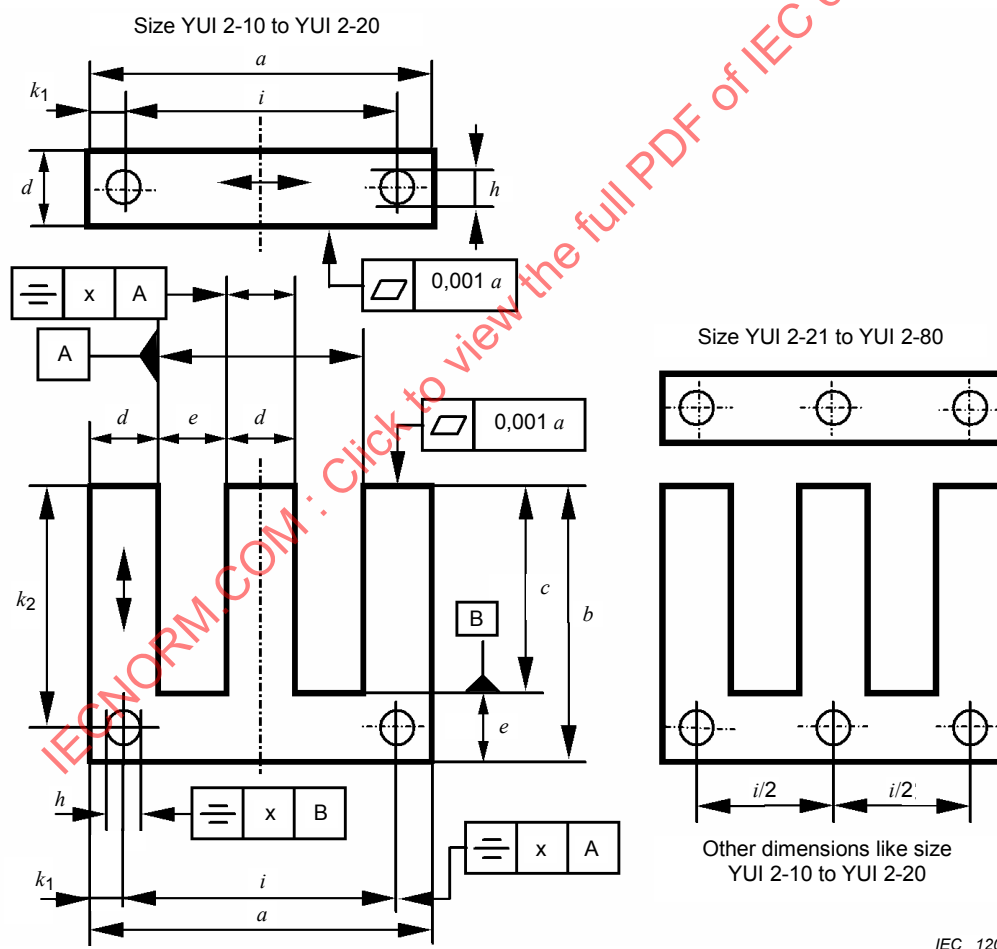


Figure 8 – Laminations Type YUI 2, dimensions

Table 15 – Laminations Type YUI 2, relation of dimensions and tolerances

Dimension	Relation factor	Tolerance code
a	$5 \cdot d$	IT 12 js
b	$4 \cdot d$	IT 12 js
c	$3 \cdot d$	IT 12 JS
d	$1 \cdot d$	IT 12 js
e	$1 \cdot d$	-
i	$4 \cdot d$	IT 12 JS
k_1	$0,5 \cdot d$	-
k_2	$3,5 \cdot d$	IT 12 JS

Table 16 – Laminations Type YUI 2, diameter of the holes and tolerance factor x

Dimension	Tolerance code	Lamination YUI 2-... , dimension d in mm						
		10 to 14	15 to 19	20 to 24	25 to 29	30 to 37	38 to 60	61 to 80
h	JS 14	3,5	4,5	4,5	5,5	7,8	11	15
x		0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4

The effective parameters are calculated as follows:

$$\text{Core cross-section} \quad A_{\text{Fe}} = d \cdot h_p \cdot \eta, \text{ in mm}^2; \quad (33)$$

$$\text{Magnetic path length} \quad l_{\text{Fe1}} = b + d, \text{ in mm}; \quad (34)$$

$$l_{\text{Fe2}} = b + 3 \cdot d, \text{ in mm}; \quad (35)$$

$$l_{\text{Fe}} = l_{\text{Fe1}} + 2 \cdot l_{\text{Fe2}} = 19 \cdot d; \quad (36)$$

$$\text{Core volume} \quad V_{\text{Fe}} = A_{\text{Fe}} \cdot l_{\text{Fe}}, \text{ in mm}^3; \quad (37)$$

$$\text{Core constant} \quad C_1 = l_{\text{Fe}} / A_{\text{Fe}}, \text{ in mm}^{-1}. \quad (38)$$

where

d is the limb width, in mm;

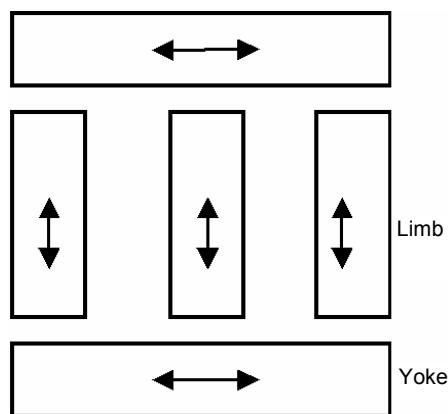
h_p is the stack height, in mm;

η is the stacking factor.

13.5.2 Lamination strip shape Type YSUI 2

The lamination Type YUI 2 also may be constructed with lamination strips. For the layer plan of the separate strips, see Figure 9. The dimensions and tolerances of the strips are according to the dimensions and tolerances of the outline shapes. As a matter of agreement between customer and manufacturer, the strip shapes may be provided with holes (sign H). The size and position of the holes shall be analogous in accordance with the holes in the outline shapes in Figure 8. Other holes are a matter for agreement between customer and manufacturer.

NOTE For lamination strip shapes Type YSUI 2, the coil formers IEC 61797-1, Type YUI 1, may be used.



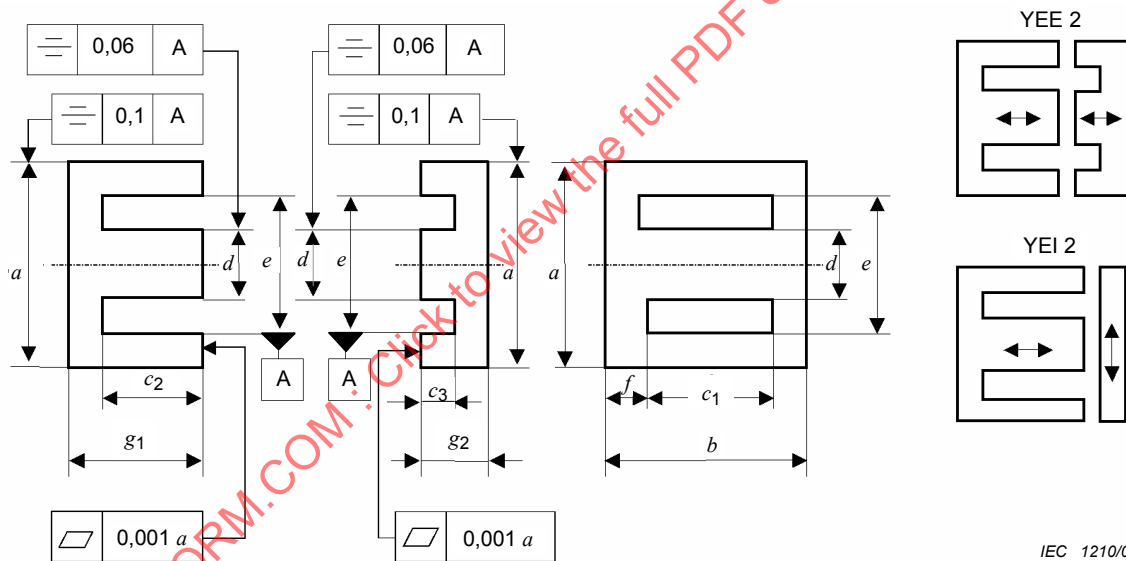
IEC 1209/05

Figure 9 – Layer plan for the lamination strip shapes Type YSU 2

13.6 Lamination Types YEx 2, YEE 2 and YEI 2

YEx 2 designates YEE 2 or YEI 2. The corresponding type YEE 2-L is described in 13.7. For laminated core packages using YEE 2 laminations, see IEC 61021-1 and IEC 61021-2.

NOTE For laminations Type YEx 2, the coil formers IEC 61797-1, Type YEx 2, may be used.



IEC 1210/05

Figure 10 – Laminations Type YEx 2, dimensions

Table 17 – Laminations Type YEx 2, dimensions and tolerances

Designation	Reference letter and tolerance code (see Table 9)									
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i> ₁	<i>c</i> ₂	<i>c</i> ₃	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i> ₁	<i>g</i> ₂
	IT 12 js	IT 13 js	+ IT 13 0	+ IT 12 0	+ IT 12 0	0 –IT 11	+ IT 11 0		IT 12 js	IT 12 js
YEx 2-2	8	8	5,6	4,3	1,3	2,4	5,6	1,2	5,5	2,5
YEx 2-3	10	10	7	5,5	1,5	3	7	1,5	7	3
YEx 2-4	12,6	12,6	8,8	6,7	2,1	3,8	8,8	1,9	8,6	4
YEx 2-5	16	16	11,2	8,6	2,6	4,8	11,2	2,4	11	5
YEx 2-6	20	20	14	11	3	6	14	3	14	6
YEx 2-8	25	25	17,4	13,2	4,2	7,6	17,4	3,8	17	8
YEx 2-10	32	32	22,4	17,2	5,2	9,6	22,4	4,8	22	10
YEx 2-12	40	40	28	22	6	12	28	6	28	12
Relation factor	$3,33 \cdot d$	$3,33 \cdot d$	$2,33 \cdot d$			$1 \cdot d$	$2,33 \cdot d$	$0,5 \cdot d$		

Table 18 – Laminations Type YEx 2, effective parameters

Designation	Effective parameters for $h_p = d$ and $\eta = 0,95$			
	Core cross-section A_{Fe} mm ²	Magnetic path length l_{Fe} mm	Core volume V_{Fe} cm ³	Core constant C_1 cm ⁻¹
YEx 2-2	5,47	19,2	0,105	35,1
YEx 2-3	8,55	24,0	0,205	28,1
YEx 2-4	13,7	30,2	0,414	22,0
YEx 2-5	21,9	38,4	0,841	17,5
YEx 2-6	34,2	48,0	1,64	14,0
YEx 2-8	54,9	59,8	3,28	10,9
YEx 2-10	87,6	76,8	6,73	8,77
YEx 2-12	136,8	96,0	13,1	7,02

Magnetic path length $l_{Fe} = b + c_1 + (a + e - d) / 2$ (39)

13.7 Lamination Types YEE 2-..L

NOTE For laminations Type YEE 2-..L, the coil formers IEC 61797-1, Type YEE 2-..L, may be used.

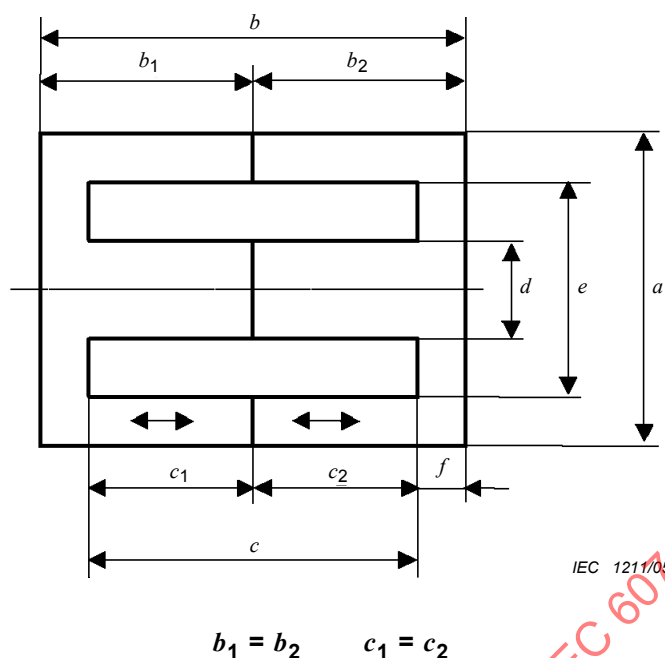


Figure 11 – Laminations Type YEE 2-...L, using two long E parts, dimensions

Table 19 – Laminations Type YEE 2-...L, using two long E parts, dimensions and tolerances

Designation	Reference letter and tolerance code (see Table 9)					
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>
	IT 13 js	IT 14 js	IT 14 JS	0 -IT 11	+IT 11 0	
YEE 2-6 L	20	28	22	6	14	3
YEE 2-8 L	25	34	26,4	7,6	17,4	3,8
YEE 2-10 L	32	44	34,4	9,6	22,4	4,8
YEE 2-12 L	40	56	44	12	28	6
Relation factor	3,33 <i>d</i>	4,67 <i>d</i>	3,67 · <i>d</i>	1 · <i>d</i>	2,33 · <i>d</i>	0,5 · <i>d</i>

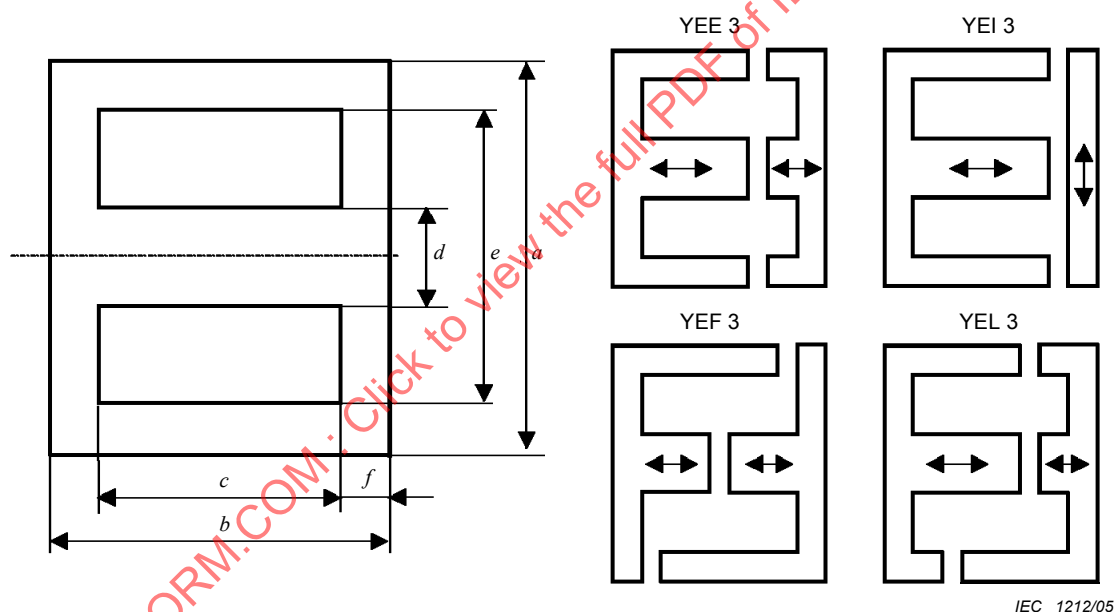
**Table 20 – Laminations Type YEE 2-..L,
using two long E parts effective parameters**

Designation	Effective parameters for $h_p = d$ and $\eta = 0,95$			
	Core cross-section	Magnetic path length	Core volume	Core constant
	A_{Fe} mm ²	l_{Fe} mm	V_{Fe} cm ³	C_1 cm ⁻¹
YEE 2-6 L	34,2	64	2,19	18,7
YEE 2-8 L	54,9	77,8	4,27	14,2
YEE 2-10 L	87,6	100,8	8,83	11,5
YEE 2-12 L	136,8	128	17,51	9,36

Magnetic path length $l_{Fe} = b + c + (a + e - d) / 2$ (40)

13.8 Lamination Types YEx 3, YEE 3, YEF 3, YEI 3 and YEL 3

YEx 3 designates YEE 3, YEF 3, YEI 3 or YEL 3.



IEC 1212/05

Figure 12 – Laminations Type YEx 3, dimensions

Table 21 – Laminations Type YEx 3, dimensions and tolerances

Designation	Reference letter and tolerance code (see Table 9)					
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>
	± IT 12	± IT 12	+IT 12 0	0 -IT 12	+IT 12 0	
YEx 3-10	40	35	25	10	30	5
YEx 3-12	48	42	30	12	36	6
YEx 3-16	64	56	40	16	48	8
YEx 3-20	80	70	50	20	60	10
YEx 3-25	100	87,5	62,5	25	75	12,5
YEx 3-32	128	112	80	32	96	16
YEx 3-40	160	140	100	40	120	20
Relation factor	$4 \cdot d$	$3,5 \cdot d$	$2,5 \cdot d$	$1 \cdot d$	$3 \cdot d$	$0,5 \cdot d$

Table 22 – Laminations Type YEx 3, effective parameters

Designation	Effective parameters for $h_p = d$ and $\eta = 0,95$			
	Core cross-section A_{Fe} mm^2	Magnetic path length l_{Fe} mm	Core volume V_{Fe} cm^3	Core constant C_1 cm^{-1}
YEx 3-10	95	90	8,55	9,47
YEx 3-12	136,8	108	14,8	7,89
YEx 3-16	243,2	144	35,0	5,92
YEx 3-20	380	180	68,4	4,74
YEx 3-25	594	225	134	3,79
YEx 3-32	973	288	280	2,96
YEx 3-40	1 520	360	547	2,37

Magnetic path length $l_{Fe} = b + c + (a + e - d) / 2 = 9 \cdot d$ (41)

13.9 Lamination Types YEx 4, YEE 4 and YEF 4

YEx 4 designates YEE 4 or YEF 4.

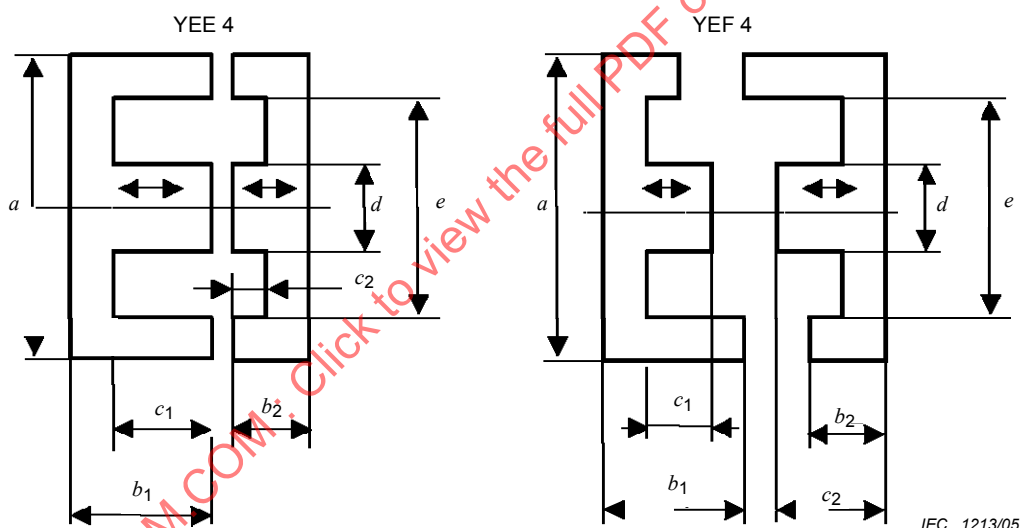


Figure 13 – Laminations Type YEx 4, dimensions

Table 23 – Laminations Type YEE 4, dimensions and tolerances

Designation	Reference letter and tolerance code (see Table 9)						
	<i>a</i>	<i>b</i> ₁	<i>b</i> ₂	<i>c</i> ₁	<i>c</i> ₂	<i>d</i>	<i>e</i>
	+IT 12 0	+IT 12 0	+IT 12 0	+IT 12 0	+IT 12 0	0 -IT 11	+IT 10 0
YEE 4-2	8,4	4	2	2,8	0,8	2,4	6
YEE 4-3	10,5	5	2,6	3,5	1,1	3	7,6
YEE 4-4	13,4	6,4	3,2	4,5	1,3	3,8	9,6
YEE 4-5	16,8	8	4	5,6	1,6	4,8	12
YEE 4-6	21	10	5	7	2	6	15
YEE 4-8	26,6	12,7	6,3	8,9	2,5	7,6	19
YEE 4-10	33,6	16	8	11,2	3,2	9,6	24
YEE 4-12	42	20	10	14	4	12	30
Relation factor	3,5 · <i>d</i>	1,67 · <i>d</i>	0,83 · <i>d</i>	1,17 · <i>d</i>	0,33 · <i>d</i>	1 · <i>d</i>	2,5 · <i>d</i>

Table 24 – Laminations Type YEF 4, dimensions and tolerances

Designation	Reference letter and tolerance code (see Table 9)						
	<i>a</i>	<i>b</i> ₁	<i>b</i> ₂	<i>c</i> ₁	<i>c</i> ₂	<i>d</i>	<i>e</i>
	+IT 12 0	0 -IT 12	0 -IT 12	+IT 12 0	+IT 12 0	0 -IT 11	+IT 10 0
YEF 4-2	8,4	4	2	1,8	3	2,4	6
YEF 4-3	10,5	5	2,6	2,3	3,8	3	7,6
YEF 4-4	13,4	6,4	3,2	2,9	4,8	3,8	9,6
YEF 4-5	16,8	8	4	3,6	6	4,8	12
YEF 4-6	21	10	5	4,5	7,5	6	15
YEF 4-8	26,6	12,7	6,3	5,7	9,5	7,6	19
YEF 4-10	33,6	16	8	7,2	12	9,6	24
YEF 4-12	42	20	10	9	15	12	30
Relation factor	3,5 · <i>d</i>	1,67 · <i>d</i>	0,83 · <i>d</i>	0,75 · <i>d</i>	1,25 · <i>d</i>	1 · <i>d</i>	2,5 · <i>d</i>

Table 25 – Laminations Type YEx 4, effective parameters

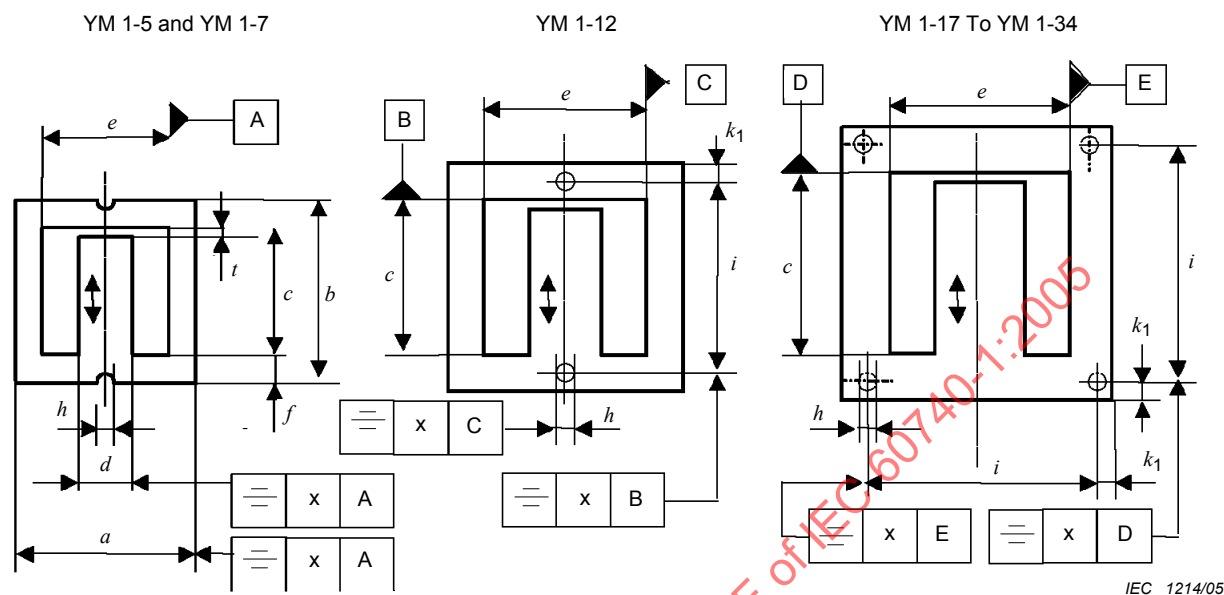
Designation	Effective parameters for $h_p = d$ and $\eta = 0,95$			
	Core cross-section A_{Fe} mm ²	Magnetic path length l_{Fe} mm	Core volume V_{Fe} cm ³	Core constant C_1 cm ⁻¹
YEx 4-2	5,47	15,2	0,0832	27,8
YEx 4-3	8,55	19,75	0,169	23,1
YEx 4-4	13,72	25	0,343	18,2
YEx 4-5	21,89	31,2	0,683	14,3
YEx 4-6	34,2	39	1,33	11,4
YEx 4-8	54,87	49,4	2,71	9,0
YEx 4-10	87,55	62,4	5,46	7,13
YEx 4-12	136,8	78	10,7	5,70

$$\text{Magnetic path length for type YEE: } l_{Fe} = b_1 + b_2 + c_1 + c_2 + (a + e - d) / 2 = 6,5 \cdot d \quad (42)$$

$$\text{Magnetic path length for type YEF: } l_{Fe} = 2 \cdot c_1 + 2 \cdot c_2 + (a + e - d) / 2 = 6,5 \cdot d \quad (43)$$

13.10 Laminations Type YM 1

NOTE For laminations Type YM 1, the coil formers IEC 61797-1, Type YM 1, may be used.



For other dimensions see YM 1-5

Figure 14 – Laminations Type YM 1, dimensions

Table 26 – Laminations Type YM 1, dimensions and tolerances

Designation	Reference letter and tolerance code (see Table 9)									
	a	b	c	d	e	f	h	i	k ₁	t ^{a)}
	IT 12 js	IT 12 js	IT 12 JS	IT 12 js	IT 12 JS		JS 14	IT 12 JS		± IT 11
YM 1-5	20	20	13	5	13	3,5	2,8			
YM 1-7	30	30	20	7	20	5	3,0			
YM 1-12	42	42	30	12	30	6	3,5	36	3	0,5
YM 1-17	55	55	38	17	38	8,5	3,5	47	4	0,5
YM 1-20	65	65	45	20	45	10	4,5	56	4,5	0,5
YM 1-23	74	74	51	23	51	11,5	4,5	64	5	0,5
YM 1-29	85	85	56	29	56	14,5	4,5	75	5	0,5
YM 1-34	102	102	68	34	68	17	5,5	91	5,5	0,5

a) for t = 0 the tolerance is + 0,2 mm

Table 27 – Laminations Type YM 1, effective parameters

Designation	Effective parameters , $h_p = d$ and $\eta = 0,95$			
	Core cross-section	Magnetic path length	Core volume	Core constant
	A_{Fe} mm ²	l_{Fe} mm	V_{Fe} cm ³	C_1 cm ⁻¹
YM 1-5	23,75	47	1,12	19,8
YM 1-7	46,55	71,5	3,33	15,4
YM 1-12	136,8	102	14	7,46
YM 1-17	274,55	131	36	4,77
YM 1-20	380	155	58,9	4,08
YM 1-23	502,55	176	88,4	3,5
YM 1-29	798,95	197	157	2,47
YM 1-34	1 098,2	238	261	2,17

Magnetic path length
$$l_{Fe} = b + c + (a + e - d) / 2 \quad (44)$$

14 Electrical characteristics for materials

For the electrical characteristics of the laminations a definition of specific total apparent power in VA/kg is required.

A conversion of the polarisation $\hat{J}$ and the field strength $\hat{H}$ from IEC 60404-8-4 and IEC 60404-8-7 into equivalent specific total apparent power is obtained with a process that uses guaranteed values for $\hat{J}$ and $\hat{H}$ along with a typical curve of the apparent power.

For each material in Table 1, a cardinal value p_{S0} , of total apparent power for the nominal flux density $\hat{B}$ is defined. See Annex A.

For the specific power loss from IEC 60404-8-4 and IEC 60404-8-7, cardinal values p_{Fe0} in W/kg are defined, which are higher than the limits of power loss for sheets and strips.

The selected cardinal values for the specific total apparent power p_{S0} and the specific power loss p_{Fe0} are in accordance with the series R 40.

**Table 28 – Materials from IEC 60404-8-4 and IEC 60404-8-7 and Table 1.
Characteristics for the electrical steel sheet and strips, and laminations
for the specific total apparent power p_{S0} and the specific power loss p_{Fe0}**

Material designation	Electrical sheet and strip					Laminations			
	IEC 60404-8-4 IEC 60404-8-7					IEC 60740-1			
	$\hat{H}$ A/m	$\hat{B}, \hat{J}$ T	p_S ^{a)} VA/kg	$\hat{B}$ T	p_{Fe} W/kg	$\hat{B}$ T	p_{S0} VA/kg	p_{Fe0} W/kg	Cores made from
M 270-35-A 5	2 500	1,49	53	1,5	2,7	1,5	56	3	Contour outline shapes
M 330-35-A 5					3,3			3,75	
M 330-50-A 5					3,3			3,75	
M 400-50-A 5		1,51	53		4		50	4,5	
M 530-50-A 5		1,56	55,7		5,3		40	6	
M 800-50-A 5		1,6	56,4		8		31,5	9	
M 165-35-S 5	800	1,75	21,3	1,7	1,65	1,7	50	2,12	Strip shapes
							56	2,8	Contour outline shapes
a) The values for p_S are valid for the flux density $\hat{B}, \hat{J}$. Conversion from $\hat{H}$ and $\hat{J}$ to p_{S0} , see annex A. b) In the values p_{Fe0} at the non-oriented material C 21, the parts of anisotropy are included.									

Laminations made from grain-oriented silicon steel have essential higher total apparent power. The cardinal value $p_{S0} = 56$ VA/kg at $\hat{B} = 1,7$ T for the laminations is chosen according to the practice.

15 Specific total apparent power for laminations

The cardinal values p_{S0} in Table 28 are valid for Epstein trails with a width of 30 mm.

The limits for the total apparent power p_S for lamination strip shapes and outline shapes are specified in Table 29. They are valid for the materials of Table 1, for all types and width of the limbs of the laminations.

At the laminations with limbs from 6 mm to 14 mm, the limits are valid without holes in the laminations. At limbs from 15 mm to > 60 mm the values are valid with the holes from 13.3 to 13.5 and 13.10. Other holes are a matter for agreement between customer and manufacturer.

The limits for p_S in small laminations with holes are about one step of R 40 higher than for those without holes. All values for the specific total apparent power p_S are in accordance with series R 40. The laminations may be interleaved equilateral, only in the case of arbitration they shall be interleaved one by one throughout the stack.

Table 29 – Specific total apparent power p_S in VA/kg for the materials from Table 1 for all types of laminations and limb width

Material designation	Type	$\hat{B}$ T	p_{S0} VA/kg	p_S in VA/kg			
				Lamination limb width mm			
				6 to 14	15 to 29	30 to 60	> 60
				without holes	with holes		
M 270-35A 5, M 330-35A 5, M 330-50A 5	YS	1,5	56	-	-	60	56
	YEI 1, YUI 1	1,5	56	75	71	60	56
	YSUI 1	1,5	56	-	-	60	56
	YUI 2	1,5	56	75	75	63	60
	YSUI 2	1,5	56	-	-	63	60
	YM 1	1,5	56	80	80	67	-
M 400-50A 5	YS	1,5	50	-	-	53	50
	YEI 1, YUI 1	1,5	50	67	63	53	50
	YSUI 1	1,5	50	-	-	53	50
	YUI 2	1,5	50	67	67	56	53
	YSUI 2	1,5	50	-	-	56	53
	YM 1	1,5	50	71	71	60	-
M 530-50A 5	YS	1,5	40	-	-	42,5	40
	YEI 1, YUI 1	1,5	40	53	50	42,5	40
	YSUI 1	1,5	40	-	-	42,5	40
	YUI 2	1,5	40	53	53	45	42,5
	YSUI 2	1,5	40	-	-	45	42,5
	YM 1	1,5	40	56	56	47,5	-
M 800-50A 5	YS	1,5	31,5	-	-	33,5	31,5
	YEI 1, YUI 1	1,5	31,5	42,5	40	33,5	31,5
	YSUI 1	1,5	31,5	-	-	33,5	31,5
	YUI 2	1,5	31,5	42,5	42,5	35,5	33,5
	YSUI 2	1,5	31,5	-	-	35,5	33,5
	YM 1	1,5	31,5	45	45	37,5	-
M 165-35S 5	YS, YSUI 1	1,7	50	-	-	56	50
	YSUI 2	1,7	56	-	-	63	56
	YEI 1, YUI 1	1,7	56	85	85	67	56
	YUI 2	1,7	56	90	90	71	60
	YSUI 2	1,7	56	90	90	71	60
	YM 1	1,7	56	100	100	80	-

16 Specific power loss for laminations

The cardinal values p_{Fe0} in Table 28 are valid for Epstein trails with a width of 30 mm.

The limits for the power loss p_{Fe} for strips and laminations are in Table 30. They are valid for the materials from Table 1, for all types and width of the limb of the laminations.

At the laminations with limbs from 6 mm to 14 mm, the limits are valid without holes in the laminations. At limbs from 15 mm to > 60 mm, the values are valid with the holes from 13.3 to 13.5 and 13.10. Other holes are a matter of agreement between customer and manufacturer.

The limits for p_{Fe} in the small laminations with holes are about one step of R 40 higher than without holes. All values for p_{Fe} are in accordance with the series R 40. The laminations may be interleaved equilateral, only in the case of arbitration they shall be interleaved one by one throughout the stack.

Table 30 – Specific power loss p_{Fe} in W/kg for the materials from Table 1 for all types of laminations and limb width

Material designation	Type	$\hat{B}$ T	p_{Fe0} W/kg	p_{Fe} in W/kg			
				Lamination limb width in mm			
				6 to 14	15 to 29	30 to 60	> 60
				without holes	with holes		
M 270-35A 5	YS	1,5	3	-	-	3,15	3
	YEI 1, YUI 1	1,5	3	3,55	3,35	3	3
	YSUI 1	1,5	3	-	-	3	3
	YUI 2	1,5	3	3,75	3,55	3,15	3,15
	YSUI 2	1,5	3	-	-	3,15	3,15
	YM 1	1,5	3	3,75	3,55	3,15	-
M 330-35A 5, M 330-50A 5	YS	1,5	3,75	-	-	4	3,75
	YEI 1, YUI 1	1,5	3,75	4,5	4,25	3,75	3,75
	YSUI 1	1,5	3,75	-	-	3,75	3,75
	YUI 2	1,5	3,75	4,75	4,5	4	4
	YSUI 2	1,5	3,75	-	-	4	4
	YM 1	1,5	3,75	4,75	4,5	4	-
M 400-50A 5	YS	1,5	4,5	-	-	4,75	4,5
	YEI 1, YUI 1	1,5	4,5	5,3	5	4,5	4,5
	YSUI 1	1,5	4,5	-	-	4,5	4,5
	YUI 2	1,5	4,5	5,6	5,3	4,75	4,75
	YSUI 2	1,5	4,5	-	-	4,75	4,75
	YM 1	1,5	4,5	5,6	5,3	4,75	-
M 530-50A 5	YS	1,5	6	-	-	6,3	6
	YEI 1, YUI 1	1,5	6	7,1	6,7	6	6
	YSUI 1	1,5	6	-	-	6	6
	YUI 2	1,5	6	7,5	7,1	6,3	6,3
	YSUI 2	1,5	6	-	-	6,3	6,3
	YM 1	1,5	6	7,5	7,1	6,3	-
M 800-50A 5	YS	1,5	9	-	-	9,5	9
	YEI 1, YUI 1	1,5	9	10,6	10	9	9
	YSUI 1	1,5	9	-	-	9	9
	YUI 2	1,5	9	11,2	10,6	9,5	9,5
	YSUI 2	1,5	9	-	-	9,5	9,5
	YM 1	1,5	9	11,2	10,6	9,5	-
M 165-35S 5	YS, YSUI 1, YSUI 2	1,7	2,12	-	-	2,24	2,12
	YEI 1, YUI 1	1,7	2,8	3,15	3	2,8	2,8
	YUI 2, YM 1	1,7	2,8	3,35	3,15	3	3

17 Mechanical characteristics for laminations

17.1 General appearance and conditions

Laminations shall be clean and free from oil and rust. They shall be flat, and have no cracks and other irregularities. Heat treated laminations shall be free from contaminating deposits.

17.2 Cut and punch edge

For laminations made of materials from Table 1, the cut and punch edge shall not exceed + 0,05 mm on a length of 10 mm. Punctual edges are allowed up to 0,1 mm.

17.3 Camber

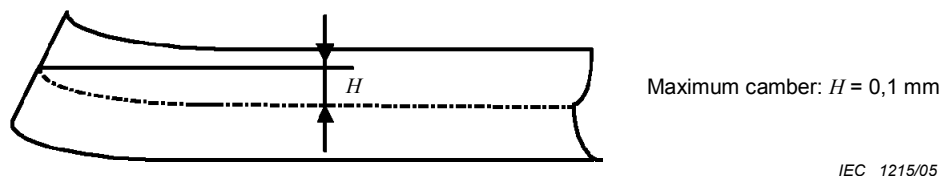


Figure 15 – Definition and limit of camber

17.4 Distortion

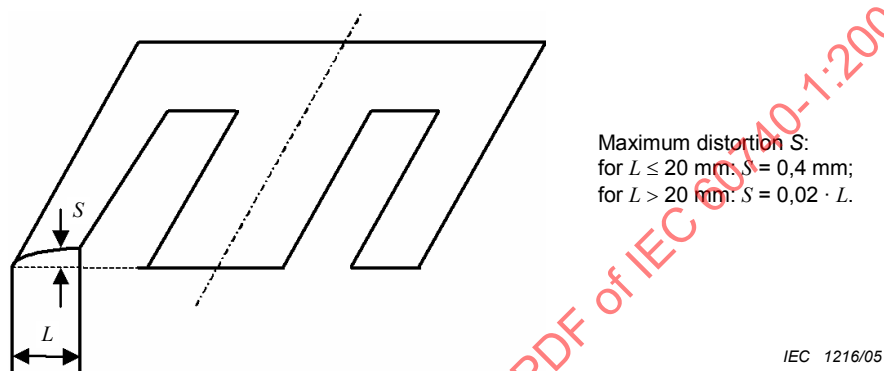


Figure 16 – Definition and limit of distortion

17.5 Bending

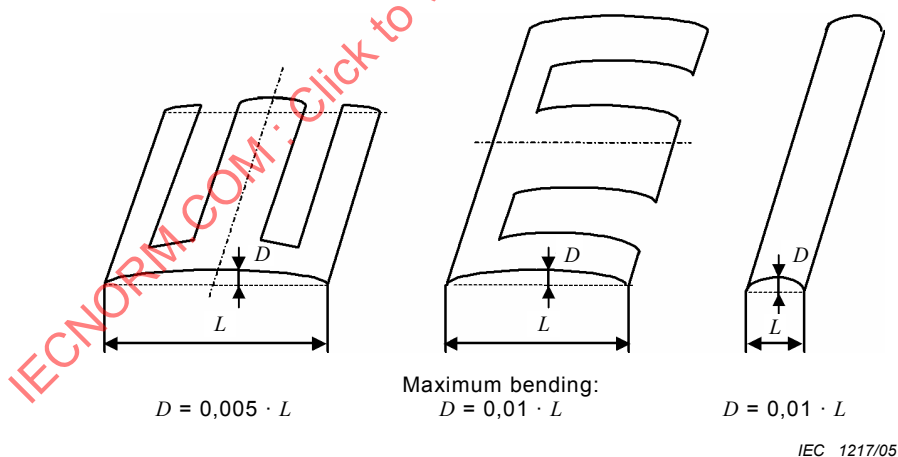


Figure 17 – Definition and limit of bending

17.6 Insulation

Laminations shall be isolated from each other.

For laminations made of material C 21 or C 22 the insulation shall consist of coating material made of inorganic substances, however a small part of organic substances may be included in order not to deteriorate the ability of welding according to 17.7.

Laminations made of the materials E 1, E 3, E 4 and F 1 shall be insulated with coating of fine-dispersed inorganic substances.

The insulation shall have an insulation resistance in according to Table 31. The measurement procedure shall be in accordance with IEC 60404-11.

Table 31 – Insulation resistance of coated surface of laminations made from material according to Table 1

Material	Electrical resistance $\Omega \cdot \text{cm}^2$
Laminations from non-oriented steel C 21	≥ 5
Laminations from grain-oriented steel C 22	≥ 5
Laminations from E 1, E 3, E 4 and F 1	Not specified

NOTE At the present time, there are not standardized laminations (e.g. YEI 1-20 to YEI 1-32) available, with insulation by an oxidized surface. In this case, Table 31 is not applicable.

17.7 Welding

The welding of laminations from C 21 and C 22 depends on the silicon content, the thickness of the insulation and the intensity of grease of the laminations.

The thickness of the insulation and the intensity of grease shall not influence the welding that it is in accordance with the approximate values of Table 32.

Table 32 – Approximate values for the test of welding for laminations from materials C 21 and C 22

Material	Designation	Additional wire	Welding current A	Electrode diameter mm	Electrode distance mm	Welding speed mm/min
C 21	Up to M 330	Yes	70 up to 160	2,4	0,5 to 1	500 up to 700
	Over M 330	No				
C 22	M 165-35S 5	Yes				

NOTE The welding current 70 A is valid for small laminations, the welding current 160 A is valid for large laminations.

Annex A (informative)

Conversion of polarisation and field strength into specific total apparent power

A.1 Specific total apparent power from polarisation and field strength

A direct calculation of the limits given in IEC 60404-8-4 and IEC 60404-8-7 for the magnetising with polarisation $\hat{J}$ and the field strength $\hat{H}$ in a specific total apparent power p_S in VA/kg at a nominal flux density is not practicable because of the non-linearity of the magnetising curve.

For electrical characteristics of laminations a definition of the total apparent power in VA/kg is required.

A conversion of the limits $\hat{J}$ and $\hat{H}$ into an equivalent specific total apparent power is obtained with

- a) a total apparent power under the consideration, that the voltage and the current are sinusoidal at the guarantee values $\hat{J}$ and $\hat{H}$;
- b) the r.m.s. value of the total apparent power at the warranted flux density;
- c) a curve of the specific total apparent power depending on the flux density.

For a): The cardinal equations of the magnetic circuit are:

$$\text{For the voltage:} \quad U = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \frac{\hat{B}}{\sqrt{2}} \cdot A_{Fe} \cdot N \cdot 10^{-4} \quad (\text{A.1})$$

$$\text{For the current:} \quad I = \frac{\hat{H}}{\sqrt{2}} \cdot l_{Fe} \cdot \frac{1}{N} \cdot 10^{-2} \quad (\text{A.2})$$

$$\text{For the core mass:} \quad m_{Fe} = A_{Fe} \cdot l_{Fe} \cdot \rho \cdot 10^{-3} \quad (\text{A.3})$$

From these equations the specific total apparent power $p_{S,\sin}$ is calculated:

$$p_{S,\sin} = \frac{U \cdot I}{m_{Fe}} \quad (\text{A.4})$$

This results in the equation:

$$p_{S,\sin} = \frac{0,157 \cdot \hat{B} \cdot \hat{H}}{\rho} \text{ in VA/kg} \quad (\text{A.5})$$

where

A_{Fe} is the core cross section, in cm²;

$\hat{B}$ is the flux density, in T;

$\hat{H}$ is the field strength, in A/m;

l_{Fe} is the magnetic path length, in cm;

N is the number of turns;

f is the frequency, 50 Hz;

ρ is the density of the material, in kg/dm³.

The guarantee values $\hat{H}$ and $\hat{J}$, the density ρ , and the calculated total apparent power $p_{S,\sin}$ for the materials shown in Table 1 are listed in Table A.1.

This specific total apparent power $p_{S,\sin}$ is the reference point resulting from the guarantee values $\hat{J}$ and $\hat{H}$ for the materials.

For materials in accordance with IEC 60404-8-4, the guarantee value at $\hat{H} = 2\,500$ A/m is used.

For materials in accordance with IEC 60404-8-7, the field strength is $\hat{H} = 800$ A/m. In the above-mentioned IEC publications, the polarisation $\hat{J}$ is considered to be identical with the flux density $\hat{B}$. The difference caused by the idle flux density $\mu_0 \cdot \hat{H}$ is negligible. The difference is at $\hat{H} = 2\,500$ A/m:

$$\mu_0 \cdot \hat{H} = 4 \pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{A} \cdot \text{m}} \cdot 2500 \cdot \frac{\text{A}}{\text{m}} = 0,00314 \cdot \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} = 0,00314 \text{ T} \quad (\text{A.6})$$

For b): Because of the non-linearity of the magnetic curve, the measured specific apparent power at the guarantee flux density is only 50 % to 60 % of the calculated $p_{S,\sin}$. To eliminate the dispersion of different charges, a total apparent power with 70 % of the calculated $p_{S,\sin}$ at the guarantee flux density is chosen. See p_S at $\hat{B}$ in Table A.1.

For c): The characteristics of the total apparent power depending on the flux density is defined by a mathematical function. With this function, it is possible to convert the guarantee flux density $\hat{B}$ into the requested nominal flux density $\hat{B}_n$ depending on the cardinal value p_{S0} .

The equation for the total apparent power is:

$$p_S \approx p_{BFe} = c_1 \cdot f \cdot \hat{B}^{(2+y)} + c_2 \cdot f^2 \cdot \hat{B}^{(2+y)} \quad (\text{A.7})$$

The characteristics for selected values of the specific reactive power of the core p_{BFe} are shown in Figure A.1. Characteristics for other specific reactive power of the core see Table A.4.

For the characteristics above the guarantee value p_S at the guarantee flux density $\hat{B}$ is determined. Table A.1 shows the data for the C 21 and C 22 materials used in this specification. For power loss in W/kg, see Table 28.

Table A.1 – Data for the specific total apparent power and the specific power loss for C 21 and C 22 materials

Material designation	$\hat{H}$ A/m	$\hat{B}, \hat{J}$ T	At $\hat{B}$		$\hat{B}_n = 1,5 \text{ T}$		$\hat{B}_n = 1,7 \text{ T}$		ρ kg/dm ³	η
			$p_{S,\sin}$ VA/kg	p_S VA/kg	p_{S0} VA/kg	p_{Fe0} W/kg	p_{S0} VA/kg	p_{Fe0} W/kg		
M 270-35A 5	2 500	1,49	76,4	53	56	3	-	-	7,65	0,94
M 330-35A 5						3,75				
M 330-50A 5										
M 400-50A 5		1,51	77,5	53	50	4,5			7,7	0,95
M 530-50A 5		1,56	79,5	55,7	40	6				
M 800-50A 5		1,6	80,5	56,4	31,5	9			7,8	
M 165-35S 5	800	1,75	28,7	21,3	-	-	16	1,8	7,65	0,95

Laminations made from grain-oriented silicon steel have essential higher total apparent power. The cardinal value $p_{S0} = 56 \text{ VA/kg}$ at $\hat{B}_n = 1,7 \text{ T}$ for the laminations is chosen according to the practice. For the grain-oriented materials C 22 only for the magnetising in the rolling direction a guarantee value $\hat{J} = 1,75 \text{ T}$ at $\hat{H} = 800 \text{ A/m}$ is specified. With the same method, a cardinal value $p_{S0} = 16 \text{ VA/kg}$ at $\hat{B}_n = 1,7 \text{ T}$ is found.

The influences of punching, and shape and size of laminations are taken into consideration for the values of specific total apparent power (see Table 29) and for the specific power loss (see Table 30).

The influence on yokes with laminations magnetized perpendicular to the rolled direction is particularly high. The usual shapes of laminations as shown in 13.3 up to 13.10 have areas where the flux direction is mainly in parallel to the rolled direction and other areas where the flux is mainly 90° cross to the rolled direction. For more details see Clause A.7.

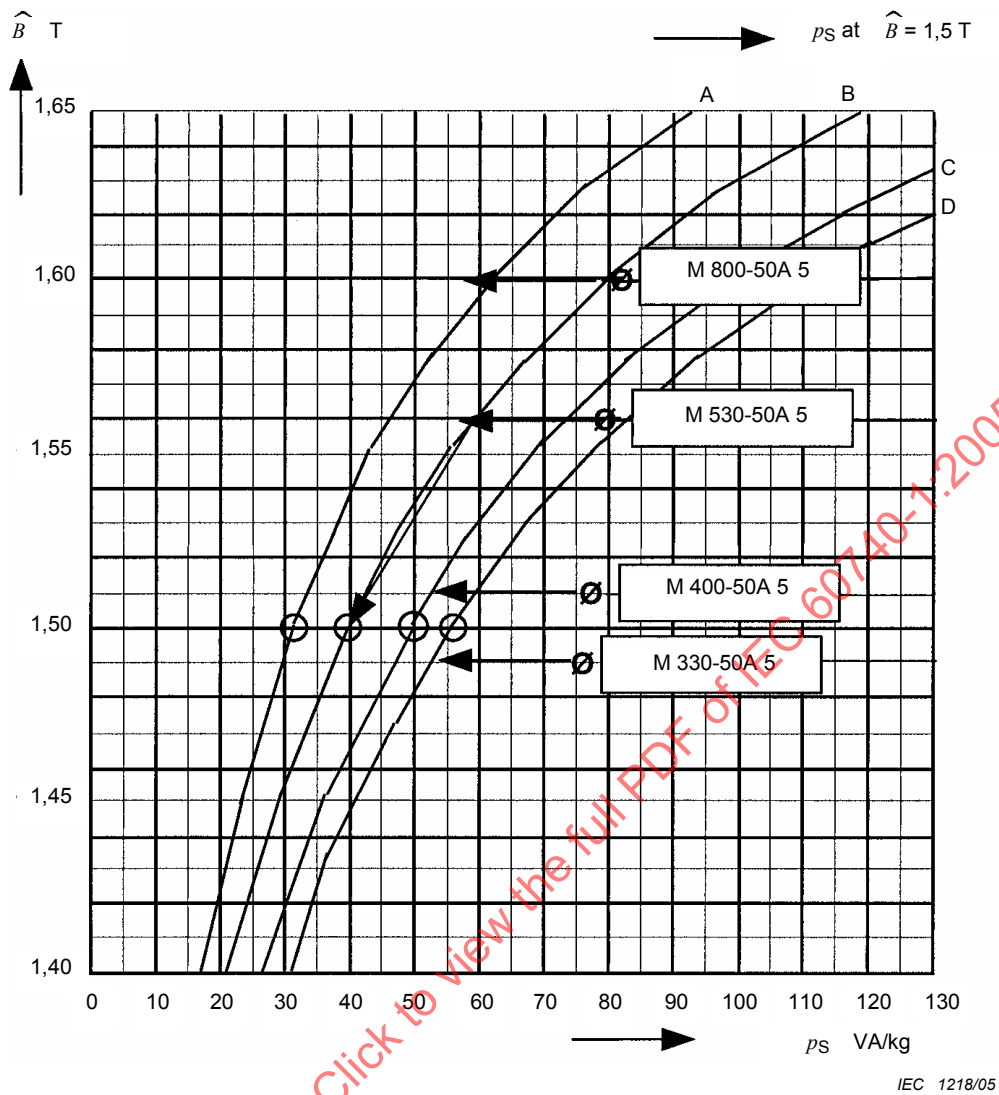
Figure A.1 shows the conversion of sinusoidal total apparent power $p_{S,\sin}$ calculated from guarantee values $\hat{J}$ and $\hat{H}$ into the cardinal value p_{S0} at nominal flux density $\hat{B}_n$.

The characteristics A to D for the total apparent power are taken from Table A.4.

Method:

Example: Material M 530-50A 5 with guaranteed flux density $\hat{B} = 1,56 \text{ T}$.

- 1) Calculate the theoretical sinusoidal total apparent power $p_{S,\sin}$ (see Clause A.5) (in this case $p_{S,\sin} = 79,5 \text{ VA/kg}$);
- 2) Mark this value in Figure A.1 at guaranteed flux density $\hat{B} = 1,56 \text{ T}$ with $\emptyset$;
- 3) Calculate the limit for $p_S = 70 \%$ of $p_{S,\sin}$ (in this case $p_S = 55,7 \text{ VA/kg}$);
- 4) Mark this value at guaranteed flux density $\hat{B} = 1,56 \text{ T}$ with $\leftarrow$;
- 5) Choose the next characteristic on the right position (in this case the characteristic B);
- 6) Follow the characteristic to nominal flux density $\hat{B} = 1,5 \text{ T}$ and mark it with O (in this case the cardinal value $p_{S0} = 40 \text{ VA/kg}$ is corresponding to the cardinal value $p_{Fe0} = 5,3 \text{ W/kg}$).



Ø: Guarantee value $p_{S,\sin}$

O: Cardinal value p_{S0} for the material

The guarantee value for M 330-50A 5 is also valid for M 330-35A 5 and M 270-35A 5.

Characteristic A: $p_{S0} = 31,5$ VA/kg

Characteristic B: $p_{S0} = 40,0$ VA/kg

Characteristic C: $p_{S0} = 50,0$ VA/kg

Characteristic D: $p_{S0} = 56,0$ VA/kg

Figure A.1 – Specific total apparent power for non-oriented silicon steel C 21

As the specific power losses p_{Fe} are always smaller than the specific reactive power p_B (about $< 20\%$ of p_B), the limit for the specific reactive power is used as the limit of the specific total apparent power.

A.2 Equations for the curves of the magnetic materials

For the calculation of transformers not only one guaranteed point but the curves are required for the specific reactive power and for the specific power loss, depending on the flux density.

For the progress of the curves, equations were developed. The curves will be calculated with constants which are depending on the material and the frequency. The equations and the constants are investigated taking into account a lot of tests and are adjusted to the wanted nominal values at the nominal flux density.

The nominal values at the nominal flux density are in accordance with the R 40 series.

A.2.1 Specific reactive power

The specific reactive power p_B for a transformer consists of the reactive power p_{BFe} of the core and if present the reactive power p_{BL} of the air gap:

$$p_B = p_{BFe} + p_{BL} \text{ in VA/kg} \quad (\text{A.8})$$

A.2.2 Specific reactive power of the material

For the specific reactive power of the material, the equation is:

$$p_{BFe} = c_1 \cdot f \cdot \hat{B}^{(2+y)} + c_2 \cdot f^2 \cdot \hat{B}^{(2+y)} \text{ in VA/kg} \quad (\text{A.9})$$

where $y = 0$ for $\hat{B} \leq \hat{B}_0$ with $\hat{B}$ and $\hat{B}_0$ in dT (deci Tesla)

$$y = y_1 \cdot (\hat{B} - \hat{B}_0)^{y_2} \text{ for } \hat{B} > \hat{B}_0 \quad (\text{A.10})$$

The constants c_1 , c_2 , y_1 , y_2 and $\hat{B}_0$ are depending on the material. In the equations for p_{BFe} and p_{Fe} for the flux density, the unit dT is chosen.

A.2.3 Specific reactive power of the air gap

In cores with an air gap, the specific reactive power is:

$$p_{BL} = 0,25 \frac{l_L \cdot f \cdot \hat{B}^2}{l_{Fe} \cdot \rho} \text{ in VA/kg} \quad (\text{A.11})$$

where

p_{BL} is the specific reactive power of the air gap, in VA/kg;

$\hat{B}$ is the flux density, in T;

l_{Fe} is the magnetic path length, in cm;

l_L is the length of the air gap, in μm ;

ρ is the density of the core, in kg/dm^3 .

A.2.4 Specific power loss

For the specific power loss the equation is:

$$p_{Fe} = c_3 \cdot f \cdot \hat{B}^{y_3} + c_4 \cdot f^2 \cdot \hat{B}^2 \text{ in W/kg} \quad (\text{A.12})$$

where $\hat{B}$ is the flux density in dT.

The constants c_3 , c_4 , and y_3 are dependent on the material.

A.2.5 Specific total apparent power

The specific total apparent power in a transformer consists of the reactive power and the power loss:

$$p_S = \sqrt{p_B^2 + p_{Fe}^2} \text{ in VA/kg} \quad (\text{A.13})$$

As the specific power loss p_{Fe} are always smaller than the specific reactive power p_B (about < 20 % of p_B), the limit for the specific reactive power is used as the limit of the specific total apparent power.

A.3 Constants for non-oriented silicon steel C 21

The nominal values for the specific reactive power and the specific power loss are valid for the nominal flux density $\hat{B} = 1,5$ T. The constants are valid for the flux density from 1 T to 1,7 T and the frequency from 30 Hz to 700 Hz.

Table A.2 – Constants for the specific reactive power of non-oriented silicon steel C 21

Nominal value	$\hat{B}_0$ dT	Constants			
p_{BFe} VA/kg		c_1	c_2	y_1	y_2
31,5	6	4,47	5,06	$3,37 \times 10^{-3}$	2,4
33,5		4,76	5,22		
35,5		5,04	5,75		
37,5		5,33	5,80		
40		5,68	6,37		
42,5		6,04	6,59		
45		6,39	7,16		
47,5		$6,75 \times 10^{-4}$	$7,38 \times 10^{-7}$		
50		7,10	7,96		
53		7,53	8,26		
56		7,96	8,90		
60		8,52	9,45		
63		8,95	10,10		
67		9,51	10,63		
71		10,09	11,30		
NOTE The nominal values p_{BFe} are valid for $\hat{B} = 1,5$ T, $f = 50$ Hz.					

**Table A.3 – Constants for the specific power loss
of non-oriented silicon steel C 21.**

Nominal value p_{Fe} W/kg	Constants		
	c_3	c_4	k_3
3	4,48	7,3	1,75
3,15	4,13	7,9	1,80
3,35	3,84	8,4	1,85
3,55	3,55	9,0	1,90
3,75	3,27	9,6	1,95
4	3,05	10,2	2,00
4,25	2,83	10,8	2,05
4,5	2,61	11,5	2,10
4,75	2,41	12,1	2,15
5	2,22	12,9	2,20
5,3	2,05	13,5	2,25
5,6	1,89	14,3	2,30
6	1,78	14,8	2,35
6,3	1,63	15,8	2,40
6,7	1,51	17,0	2,45
7,1	1,40	17,5	2,50
7,5	1,30	18,0	2,55
8	1,21	19,2	2,60
8,5	1,13	19,7	2,65
9	1,05	20,3	2,70
9,5	0,97	21,0	2,75
10	0,89	22,4	2,80
10,6	0,827	23,2	2,85

NOTE The nominal values p_{Fe} are valid for $\hat{B} = 1,5$ T, $f = 50$ Hz.

A.4.1 Specific reactive power

Table A.4 – Specific reactive power for non-oriented silicon steel C 21.

Nominal value	Specific reactive power p_{BFe} in VA/kg									
p_{BFe}	at $\hat{B}$ in T									
VA/kg	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,55	1,6	1,65	1,7
31,5	2,93	4,20	6,30	10,00	17,1	31,5	44,1	63,2	92,6	139
33,5	3,12	4,62	6,70	10,67	18,2	33,5	46,9	67,2	98,5	148
35,5	3,31	4,73	7,11	11,30	19,3	35,5	49,8	72,3	104,4	157
37,5	3,49	4,99	7,50	11,94	20,4	37,5	52,5	75,2	110,2	166
40	3,73	5,33	8,01	12,70	21,7	40,0	56,1	80,3	118,0	177
42,5	3,95	5,66	8,50	13,54	23,1	42,5	59,5	85,2	125,0	188
45	4,19	6,00	9,01	14,30	24,5	45,0	63,1	90,3	132,0	199
47,5	4,42	6,33	9,50	15,10	25,8	47,5	66,5	95,3	140,0	210
50	4,65	6,66	10,00	15,90	27,2	50,0	70,1	100,0	147,0	221
53	4,93	7,06	10,60	16,90	28,8	53,0	74,2	106,3	156,0	234
56	5,22	7,47	11,20	17,90	30,5	56,0	78,5	112,0	165,0	248
60	5,58	7,99	12,00	19,10	32,6	60,0	84,0	120,0	176,0	265
63	5,87	8,40	12,60	20,10	34,3	63,0	88,4	127,0	185,0	280
67	6,23	8,92	13,40	21,30	36,4	67,0	93,8	134,0	197,0	296
71	6,61	9,47	14,20	22,60	38,6	71,0	100,0	143,0	209,0	314

NOTE The nominal values p_{BFe} are valid for $\hat{B} = 1,5$ T, $f = 50$ Hz.

A.4.2 Specific power loss

Specific power loss, calculated using equation (A.12) and constants of Table A.3.

Table A.5 – Specific power loss for non-oriented silicon steel C 21

Nominal value	Specific power loss p_{Fe} in W/kg							
p_{Fe}	at $\hat{B}$ in T							
W/kg	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
3	1,46	1,72	2,01	2,32	2,65	3,00	3,37	3,75
3,15	1,50	1,79	2,09	2,42	2,77	3,15	3,54	3,96
3,35	1,57	1,88	2,21	2,56	2,95	3,35	3,78	4,23
3,55	1,63	1,96	2,32	2,70	3,11	3,55	4,02	4,51
3,75	1,70	2,05	2,43	2,84	3,28	3,75	4,25	4,79
4	1,78	2,15	2,56	3,00	3,49	4,00	4,56	5,14
4,25	1,86	2,26	2,70	3,17	3,69	4,25	4,85	5,49
4,5	1,93	2,35	2,82	3,34	3,89	4,50	5,14	5,84
4,75	2,00	2,46	2,95	3,50	4,10	4,75	5,45	6,20
5	2,08	2,56	3,09	3,68	4,32	5,00	5,77	6,59
5,3	2,16	2,67	3,23	3,86	4,55	5,30	6,11	6,99
5,6	2,24	2,78	3,38	4,05	4,79	5,60	6,47	7,42
6	2,36	2,94	3,59	4,32	5,12	6,00	6,96	7,88
6,3	2,44	3,05	3,74	4,51	5,37	6,3	7,34	8,46
6,7	2,55	3,20	3,94	4,77	5,69	6,70	7,82	9,04
7,1	2,65	3,34	4,12	5,00	5,99	7,10	8,29	9,61
7,5	2,76	3,49	4,32	5,26	6,32	7,50	8,80	10,20
8	2,89	3,67	4,56	5,58	6,72	8,00	9,40	11,00
8,5	3,02	3,84	4,80	5,89	7,12	8,50	10,00	11,70
9	3,14	4,02	5,04	6,20	7,52	9,00	10,70	12,50
9,5	3,25	4,18	5,26	6,50	7,91	9,50	11,30	13,30
10	3,37	4,34	5,48	6,80	8,30	10,00	11,90	14,00
10,6	3,51	4,54	5,76	7,16	8,77	10,60	12,70	15,00

NOTE: The nominal values p_{Fe} are valid for $\hat{B} = 1,5$ T, $f = 50$ Hz.

A.5 Constants for grain-oriented silicon steel C 22

The nominal values for the specific reactive power and the specific power loss are valid for the nominal flux density $\hat{B} = 1,7$ T. The constants are valid for the flux density for strips from 1 T to 2 T, for laminations from 1 T to 1,8 T and for the frequency from 30 Hz to 700 Hz.

Table A.6 – Constants for the specific reactive power of grain-oriented silicon steel C 22

Nominal value p_{BFe} VA/kg	$\hat{B}_0$ dT	Constants				Notes
		c_1	c_2	y_1	y_2	
15	11	3,00	5,14	$9,5 \times 10^{-3}$	2,1	Preferred use for strip-wound cores and strip-wound cut cores
16		3,20	5,49			
17		3,40	5,83			
18		$3,60 \times 10^{-4}$	$6,17 \times 10^{-7}$			
19		3,80	6,51			
20		4,00	6,86			
40	6	3,66	6,37	$11,9 \times 10^{-3}$	1,69	Preferred use for contour outline shapes
42,5		3,89	6,74			
45		4,12	7,11			
47,5		4,35	7,49			
50		4,58	7,96			
53		4,85	8,43			
56		5,12	8,99			
60		5,49	9,55			
63		$5,76 \times 10^{-4}$	$10,10 \times 10^{-7}$			
67		6,13	10,68			
71		6,50	11,20			
75		6,86	11,99			
80		7,32	12,70			
85		7,78	13,49			
90		8,24	14,20			
95		8,69	15,18			
100		9,15	15,90			

NOTE The nominal values p_{BFe} are valid for $\hat{B} = 1,7$ T, $f = 50$ Hz.

**Table A.7 – Constants for the specific power loss
of grain-oriented silicon steel C 22**

Nominal value P_{Fe} W/kg	Constants			Notes
	c_3	c_4	y_3	
1,7	0,891	5,7	2,00	Preferred use for strip-wound cores and strip-wound cut cores
1,8	0,869	6,0	2,03	
1,9	0,844	6,3	2,06	
2	0,813	6,7	2,09	
2,12	0,792	7,1	2,12	
2,24	0,768	7,5	2,15	
2,36	0,744	7,9	2,18	Preferred use for contour outline shapes
2,5	0,725	8,3	2,21	
2,65	0,706	8,8	2,24	
2,8	0,685	9,3	2,27	
3	0,674	10,0	2,30	
3,15	0,649	10,5	2,33	
3,35	0,634	11,2	2,36	
3,55	0,618	11,8	2,39	

NOTE The nominal values P_{Fe} are valid for $\hat{B} = 1,7$ T, $f = 50$ Hz.

A.6.1 Specific reactive power

Table A.8 – Specific reactive power for grain-oriented silicon steel C 22.

Nominal value P_{BF_e} VA/kg	Specific reactive power P_{BF_e} in VA/kg at $\hat{B}$ in T							
	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
17	3,46	4,65	6,66	10,24	17	30,7	60,4	130
18	3,66	4,93	7,06	10,84	18	32,5	63,9	138
19	3,87	5,20	7,45	11,45	19	34,3	67,5	146
20	4,07	5,48	7,84	12,05	20	36,1	71,9	153
40	7,62	11,2	16,8	25,6	40	63,8		
42,5	8,10	11,9	17,8	27,2	42,5	67,8		
45	8,57	12,6	18,9	28,8	45	71,8		
47,5	9,05	13,3	19,9	30,4	47,5	75,8		
50	9,53	14,0	21,0	32,1	50	79,8		
53	10,10	14,8	22,2	34,0	53	84,6		
56	10,7	15,7	23,5	35,9	56	89,3		
60	11,4	16,8	25,2	38,4	60	95,7		
63	12,0	17,6	26,4	40,4	63	100,0		
67	12,8	18,8	28,1	42,9	67	107,0		
71	13,5	19,9	29,8	45,5	71	113,0		
75	14,3	21,0	31,4	48,0	75	120,0		
80	15,2	22,4	33,5	51,2	80	128,0		
85	16,2	23,8	35,6	54,5	85	136,0		
90	17,1	25,2	37,7	57,7	90	144,0		
95	18,1	26,6	39,8	60,9	95	152,0		
100	19,0	28,0	41,9	64,1	100	160,0		

NOTE: The nominal values P_{BF_e} are valid for $\hat{B} = 1,7 \text{ T}$, $f = 50 \text{ Hz}$.

A.6.2 Specific power loss

Specific power loss, calculated using equation (A.12) and the constants of Table A.7.

Table A.9 – Specific power loss for grain-oriented silicon steel C22.

Nominal value	Specific power loss p_{Fe} in W/kg							
p_{Fe} W/kg	at $\hat{B}$ in T							
	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
1,7	0,994	1,15	1,32	1,51	1,7	1,91	2,12	2,35
1,8	1,05	1,22	1,4	1,59	1,8	2,02	2,25	2,5
1,9	1,1	1,28	1,47	1,68	1,9	2,14	2,39	2,65
2	1,15	1,34	1,54	1,76	2	2,25	2,52	2,8
2,12	1,21	1,41	1,63	1,87	2,12	2,39	2,68	2,98
2,24	1,27	1,49	1,72	1,97	2,24	2,53	2,83	3,16
2,36	1,33	1,56	1,81	2,07	2,36	2,67	2,99	3,34
2,5	1,4	1,64	1,91	2,19	2,5	2,83	3,18	3,55
2,65	1,48	1,73	2,02	2,32	2,65	3,0	3,38	3,78
2,8	1,55	1,82	2,12	2,45	2,8	3,18	3,58	4,01
3	1,65	1,95	2,27	2,62	3	3,41	3,85	4,31
3,15	1,72	2,03	2,38	2,75	3,15	3,58	4,04	4,54
3,35	1,82	2,16	2,52	2,92	3,35	3,81	4,31	4,85
3,55	1,92	2,27	2,66	3,09	3,55	4,05	4,58	5,16

NOTE The nominal values p_{Fe} are valid for $\hat{B} = 1,7$ T, $f = 50$ Hz.

A.7 Influence of the shape on the electrical characteristics for grain-oriented silicon steel C 22

In laminations made of grain-oriented silicon steel from IEC 60404-8-7, there is an influence from the shapes on the total apparent power and the power loss.

The reason is that different parts l_q – length of the yokes – are magnetised perpendicular to the rolling direction, and some with rolling direction.

If the laminations are interleaved throughout the stack one by one in shapes with one yoke in rolling direction and one yoke perpendicular to the rolling direction, a part of the magnetic flux is going into the next lamination.

In shapes with both yokes perpendicular to the rolling direction, the increase of total apparent power and power loss is particularly high.

In Table A.10 for the laminations from 13.3 to 13.10 the parts l_w – length of the part magnetized in rolling direction – to the magnetic path length l_{Fe} and the parts l_q to l_{Fe} are listed.

These influences are considered in the Table 29 for the specific total apparent power and in Table 30 for the specific power loss.

Table A.10 – Parts of the magnetic path in rolling direction l_w / l_{Fe} and perpendicular to the rolling direction l_q / l_{Fe} for laminations of 13.3 to 13.10

Shape type	Part l_w / l_{Fe}	Part l_q / l_{Fe}	Number of yokes perpendicular
YEI 1	0,83	0,17	1
YUI 1	0,83	0,17	1
YUI 2	0,74	0,26	1
YEE 2	0,71	0,29	2
YEI 2	0,85	0,15	1
YEE 2-L	0,78	0,22	2
YEx 3	0,67	0,33	2
YEI 3	0,83	0,17	1
YEx 4	0,62	0,38	2
YM 1	0,71	0,29	2

Bibliography

IEC 60740-2:1993, *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*

IEC 61797-1:1996, *Transformers and inductors for use in telecommunication and electronic equipment – Main dimensions of coil formers – Part 1: Coil formers for laminated cores*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60740-1:2005

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	64
1 Domaine d'application	66
2 Références normatives	66
3 Termes, définitions et symboles	67
4 Matériaux et épaisseurs des tôles découpées	71
4.1 Matériaux	71
4.2 Epaisseur nominale des tôles découpées	71
4.3 Facteur d'empilement minimal	72
5 Désignation des tôles découpées et des bandes de tôles découpées	72
5.1 Formes complètes spécifiées	72
5.2 Bandes de tôles découpées pour formes spécifiées	73
5.3 Bandes de tôles découpées pour tôles découpées non spécifiées	74
6 Conditionnement et marquage	74
7 Essais électriques	74
7.1 Généralités	74
7.2 Constantes des noyaux	74
7.3 Longueur de circuit magnétique	75
7.4 Section des noyaux	75
8 Conditions générales pour les mesures électriques	76
8.1 Conditions atmosphériques	76
8.2 Bobines d'essai	76
8.3 Noyaux d'essai	76
8.4 Résidu harmonique de la tension	76
9 Mesures à haute intensité de champ	76
9.1 Généralités	76
9.2 Mesure de la perte de puissance	77
9.3 Mesure de la puissance apparente totale	80
10 Mesures à basse et moyenne intensité de champ	81
10.1 Généralités	81
10.2 Mesure de la perméabilité d'amplitude	81
11 Gammes de tôles découpées préférentielles	82
12 Dimensions et tolérances	83
12.1 Dimensions	83
12.2 Tolérances	83
12.3 Tolérances sur la symétrie	84
13 Dimensions et paramètres efficaces	84
13.1 Généralités	84
13.2 Bandes de tôles découpées de type YS	84
13.3 Tôles découpées de type YEI 1	85
13.4 Tôles découpées de type YUI 1	86
13.5 Tôles découpées de type YUI 2	89
13.6 Tôles découpées de type YEx 2, YEE 2 et YEI 2	91
13.7 Tôles découpées de type YEE 2-..L	92
13.8 Tôles découpées de type YEx 3, YEE 3, YEF 3, YEI 3 et YEL 3	94
13.9 Tôles découpées de type YEx 4, YEE 4 et YEF 4	95

13.10 Tôles découpées de type YM 1.....	97
14 Caractéristiques électriques des matériaux	98
15 Puissance apparente totale spécifique pour tôles découpées.....	99
16 Perte de puissance spécifique pour les tôles découpées	100
17 Caractéristiques mécaniques pour tôles découpées	101
17.1 Apparence et conditions générales	101
17.2 Bord coupé et perforé	101
17.3 Flèche.....	102
17.4 Distorsion.....	102
17.5 Courbure.....	102
17.6 Isolement	102
17.7 Soudure	103
Annexe A (informative) Conversion de la polarisation et de l'intensité de champ en une puissance apparente totale spécifique	104
A.1 Puissance apparente totale spécifique à partir de la polarisation de l'intensité de champ.....	104
A.2 Equations pour les courbes des matériaux magnétiques.....	109
A.3 Constantes pour l'acier au silicium non orienté C 21.....	110
A.4 Puissance réactive spécifique et perte de puissance spécifique pour l'acier au silicium non orienté C 21	112
A.5 Constantes pour l'acier au silicium à grains orientés C 22	114
A.6 Puissance réactive spécifique et perte de puissance spécifique pour l'acier au silicium à grains orientés C 22	116
A.7 Influence de la forme sur la caractéristique électrique pour l'acier au silicium à grains orientés C 22	118
Bibliographie	119
Figure 1 – Mesures à haute intensité de champ, méthode directe et méthode indirecte, noyaux monophasés	79
Figure 2 – Mesures à haute intensité de champ, méthode directe, noyaux triphasés.....	80
Figure 3 – Mesures à basse et moyenne intensité de champ.....	82
Figure 4 – Bandes de tôles découpées de type YS, dimensions et tolérances	84
Figure 5 – Tôles découpées de type YEI 1, dimensions	85
Figure 6 – Tôles découpées de type YUI 1, dimensions	87
Figure 7 – Plan d'une couche pour les formes des bandes de tôles découpées de type YSUI 1	88
Figure 8 – Tôles découpées de type YUI 2, dimensions	89
Figure 9 – Plan d'une couche pour les formes des bandes de tôles découpées de type YSUI 2	91
Figure 10 – Tôles découpées de type YEx 2, dimensions.....	91
Figure 11 – Tôles découpées de type YEE 2-...L, utilisant deux longues parties en E, dimensions	93
Figure 12 – Tôles découpées de type YEx 3, dimensions.....	94
Figure 13 – Tôles découpées de type YEx 4, dimensions.....	95
Figure 14 – Tôles découpées de type YM 1, dimensions.....	97

Figure 15 – Définition et limite de la flèche	102
Figure 16 – Définition et limite de la distorsion	102
Figure 17 – Définition et limite de la courbure.....	102
Figure A.1 – Puissance apparente totale spécifique pour l'acier au silicium non orienté C 21	108
Tableau 1 – Alliages et aciers magnétiques préférentiels utilisés pour les tôles découpées.....	71
Tableau 2 – Matériau et épaisseur des tôles découpées	71
Tableau 3 – Tolérance sur l'épaisseur des tôles découpées.....	72
Tableau 4 – Epaisseur des tôles découpées et facteur d'empilement	72
Tableau 5 – Conditions d'essais pour les matériaux C 21, C 22 et F 1 pour la perte de puissance et la puissance apparente totale	77
Tableau 6 – Conditions de mesure de la perméabilité d'amplitude de noyaux utilisant des tôles découpées faites d'acier au silicium	81
Tableau 7 – Conditions de mesure de la perméabilité d'amplitude de noyaux utilisant des tôles découpées faites d'alliages fer-nickel	82
Tableau 8 – Résumé des gammes préférentielles	83
Tableau 9 – Tolérance selon l'ISO 286-1	83
Tableau 10 – Tolérances sur les bandes de tôles découpées.....	84
Tableau 11 – Tôles découpées de type YEI 1, facteur de relation des dimensions et tolérances	86
Tableau 12 – Tôles découpées de type YEI 1, diamètre des trous et facteur de tolérance x	86
Tableau 13 – Tôles découpées de type YUI 1, facteur de relation des dimensions et tolérances	87
Tableau 14 – Tôles découpées de type YUI 1, diamètre des trous et facteur de tolérance x	88
Tableau 15 – Tôles découpées de type YUI 2, facteur de relation des dimensions et tolérances	90
Tableau 16 – Tôles découpées de type YUI 2, diamètre des trous et facteur de tolérance x	90
Tableau 17 – Tôles découpées de type YEx 2, dimensions et tolérances	92
Tableau 18 – Tôles découpées de type YEx 2, paramètres efficaces.....	92
Tableau 19 – Tôles découpées de type YEE 2-..L, utilisant deux longues parties en E, dimensions et tolérances	93
Tableau 20 – Tôles découpées de type YEE 2-..L, utilisant deux longues parties en E, paramètres efficaces	93
Tableau 21 – Tôles découpées de type YEx 3, dimensions et tolérances	94
Tableau 22 – Tôles découpées de type YEx 3, paramètres efficaces.....	95
Tableau 23 – Tôles découpées de type YEE 4, dimensions et tolérances	96
Tableau 24 – Tôles découpées de type YEF 4, dimensions et tolérances	96
Tableau 25 – Tôles découpées de type YEx 4, paramètres efficaces.....	96
Tableau 26 – Tôles découpées de type YM 1, dimensions et tolérances.....	97
Tableau 27 – Tôles découpées de type YM 1, paramètres efficaces.....	98
Tableau 28 – Matériaux de la CEI 60404-8-4 et de la CEI 60404-8-7 et Tableau 1. Caractéristiques pour les bandes et les tôles magnétiques, et tôles découpées pour la puissance apparente totale spécifique p_{S0} et la perte de puissance spécifique p_{Fe0}	99

Tableau 29 – Puissance apparente totale spécifique p_s en VA/kg pour les matériaux du Tableau 1 pour tous les types de tôles découpées et de largeurs de branche.....	100
Tableau 30 – Perte de puissance spécifique p_{Fe} en W/kg pour les matériaux du Tableau 1 pour tous les types de tôles découpées et de largeurs de branche.....	101
Tableau 31 – Résistance d'isolement d'une surface de revêtement de tôles découpées faites d'un matériau conformément au Tableau 1	103
Tableau 32 – Valeurs approximatives pour l'essai de soudure pour des tôles découpées en matériaux C 21 et C 22.....	103
Tableau A.1 – Données pour la puissance apparente totale spécifique et la perte de puissance spécifique pour des matériaux C 21 et C 22	106
Tableau A.2 – Constantes pour la puissance réactive spécifique de l'acier au silicium non orienté C 21	110
Tableau A.3 – Constantes pour la perte de puissance spécifique de l'acier au silicium non orienté C 21	111
Tableau A.4 – Puissance réactive spécifique pour l'acier au silicium non orienté C 21	112
Tableau A.5 – Perte de puissance spécifique pour l'acier au silicium non orienté C 21	113
Tableau A.6 – Constantes pour la puissance réactive spécifique de l'acier au silicium à grains orientés C 22.....	114
Tableau A.7 – Constantes pour la perte de puissance spécifique de l'acier au silicium à grains orientés C 22.....	115
Tableau A.8 – Puissance réactive spécifique pour l'acier au silicium à grains orientés C 22	116
Tableau A.9 – Perte de puissance spécifique pour l'acier au silicium à grains orientés C 22	117
Tableau A.10 – Rapports du circuit magnétique parallèle au sens de l'enroulement l_w / l_{Fe} et perpendiculaire au sens de l'enroulement l_q / l_{Fe} pour les tôles découpées des paragraphes 13.3 à 13.10	118

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TÔLES DÉCOUPÉES POUR TRANSFORMATEURS ET INDUCTANCES –

Partie 1: Caractéristiques électriques et mécaniques

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de la CEI. La CEI n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, direct ou indirect, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60740-1 a été établie par le comité d'études 51 de la CEI: Composants magnétiques et ferrites.

La CEI 60740-1 annule et remplace la CEI 60740 publiée en 1982, ainsi que son amendement 1 (1991). Les principales modifications sont présentées ci-après:

- a) gammes avec bandes de tôles découpées YS, YSUI 1, YSUI 2 et tôles découpées YEE 2 – L ajoutées;
- b) gamme YEI 1 étendue aux fins de la présente norme;
- c) gammes YED 2, YEF 2, YEL 2, YES 2, Type YM 1-5a et YM 1-7a annulées;
- d) désignations nationales annulées;
- e) caractéristiques électriques pour les tôles découpées spécifiées;
- f) caractéristiques mécaniques pour les tôles découpées ajoutées;

- g) trous ajoutés pour les tôles découpées de type YEI 1, YUI 1, YUI 2 et YM 1;
- h) conversion de la polarisation $\hat{J}$ et de l'intensité du champ $\hat{H}$ en une puissance apparente totale spécifique définie à l'Annexe A. Des équations et des constantes sont spécifiées pour les caractéristiques de la puissance réactive et de la perte de puissance.

La présente version bilingue (2011-11) correspond à la version anglaise monolingue publiée en 2005-08.

Le texte anglais de cette norme est issu des documents 51/823/FDIS et 51/836/RVD.

Le rapport de vote 51/836/RVD donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

La version française de cette norme n'a pas été soumise au vote.

La présente publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

La CEI 60740 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Tôles découpées pour transformateurs et inductances*:

Partie 1: Caractéristiques électriques et mécaniques

Partie 2: Spécification des perméabilités minimales pour les tôles découpées en matériaux métalliques magnétiquement doux

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous «<http://webstore.iec.ch>» dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

TÔLES DÉCOUPÉES POUR TRANSFORMATEURS ET INDUCTANCES –

Partie 1: Caractéristiques électriques et mécaniques

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60740 spécifie les caractéristiques de tôles découpées. Leur utilisation préférentielle porte sur les noyaux de transformateur et d'inductances. Les tôles découpées sont constituées de bandes et de tôles de matériaux magnétiques, spécifiées dans la CEI 60404-8-4 et la CEI 60404-8-7.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60050-221, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 221: Matériaux et composants magnétiques*

CEI 60404-1:2000, *Matériaux magnétiques – Partie 1: Classification*

CEI 60404-8-4:1998, *Matériaux magnétiques – Partie 8-4: Spécifications pour matériaux particuliers – Tôles magnétiques en acier à grains non orientés, laminées à froid et livrées à l'état fini*

CEI 60404-8-7:1998, *Matériaux magnétiques – Partie 8-7: Spécifications pour matériaux particuliers – Bandes et tôles magnétiques en acier à grains orientés, laminées à froid et livrées à l'état fini*

CEI 60404-11:1999, *Matériaux magnétiques – Partie 11: Méthode d'essai pour la détermination de la résistance d'isolement superficiel des tôles et feuillards magnétiques*

CEI 61021-1:1990, *Noyaux en tôles découpées pour transformateurs et inductances destinés aux équipements électroniques et de télécommunications – Première partie: Dimensions*

CEI 61021-2:1995, *Noyaux en tôles découpées pour transformateurs et inductances destinés aux équipements électroniques et de télécommunications – Partie 2: Caractéristiques électriques pour noyaux utilisant des tôles YEE 2*

ISO 286-1:1988, *Système ISO de tolérances et d'ajustements – Partie 1: Bases des tolérances, écarts et ajustements*

3 Termes, définitions et symboles

Pour les besoins du présent document, les définitions de la CEI 60050-221 et les suivantes s'appliquent.

3.1

tôle découpée

tôle produite à partir d'un alliage magnétique, généralement constituée d'une partie ou de plusieurs parties jointes, formant une couche complète de noyau en tôle découpée

3.2

bande de tôle découpée

tôle produite à partir d'un alliage magnétique, qui peut être composée d'une couche de tôles découpées ou d'empilements pour des branches et des culasses

3.3

empilement en carré

configuration obtenue si la hauteur de l'empilement h_p est égale à la largeur de la branche d .

3.4

perte de puissance spécifique

perte du noyau dans un champ alternatif avec une fréquence et une forme d'onde sinusoïdale spécifiées, générant une densité de flux spécifiée divisée par la masse du noyau:

$$p_{Fe} = \frac{P_{Fe}}{m_{Fe}} \quad (1)$$

où

p_{Fe} est la perte de puissance spécifique, en W/kg;

P_{Fe} est la perte de puissance, en W;

m_{Fe} est la masse du noyau, en kg.

NOTE 1 La perte de puissance inclut la perte par hystérésis et la perte par courants de Foucault.

NOTE 2 Ceci est valide pour les noyaux avec et sans entrefer dans le circuit magnétique.

3.5

puissance réactive spécifique

puissance réactive du noyau dans un champ alternatif avec une fréquence et une forme d'onde sinusoïdale spécifiées, une densité de flux spécifiée divisée par la masse du noyau:

$$p_{BFe} = \frac{P_{BFe}}{m_{Fe}} \quad (2)$$

où

p_{BFe} est la puissance réactive spécifique, en VA/kg;

P_{BFe} est la puissance réactive, en VA;

m_{Fe} est la masse du noyau, en kg.

3.6

puissance réactive spécifique de l'entrefer

dans un champ alternatif et sinusoïdal, la densité de flux spécifiée est la puissance réactive efficace dans l'entrefer, divisée par la masse du noyau:

$$p_{BL} = 0,25 \cdot \frac{l_L \cdot f \cdot \hat{B}^2}{l_{Fe} \cdot \rho} \quad (3)$$

où

p_{BL} est la puissance réactive spécifique de l'entrefer, en VA/kg;

$\hat{B}$ est la densité de flux de crête, en T;

f est la fréquence, en Hz;

ρ est la densité du noyau, en kg/dm³;

l_L est la longueur de l'entrefer, en µm;

l_{Fe} est la longueur du circuit, en cm.

3.7

puissance apparente totale spécifique de noyaux sans entrefer

dans le chemin du flux moyen, la puissance apparente totale spécifique est composée de la puissance réactive spécifique et de la perte de puissance spécifique du noyau. Elle est égale au produit de la tension sinusoïdale et du courant efficace divisé par la masse du noyau.

$$p_S = \sqrt{p_{BFe}^2 + p_{Fe}^2} \quad (4)$$

$$p_S = \frac{U \cdot I}{m_{Fe}} = \frac{P_S}{m_{Fe}} \quad (5)$$

où

P_S est la puissance apparente totale, en VA;

p_S est la puissance apparente totale spécifique, en VA/kg;

p_{BFe} est la puissance réactive spécifique, en VA/kg;

p_{Fe} est la perte de puissance spécifique, en W/kg;

U est la tension, en V;

I est le courant efficace, en A;

m_{Fe} est la masse du noyau, en kg.

3.8

puissance apparente totale spécifique de noyaux avec entrefer

dans le chemin du flux moyen, la puissance apparente totale spécifique est composée de la puissance réactive spécifique du noyau, de la puissance réactive spécifique de l'entrefer et de la perte de puissance spécifique:

$$P_S = \sqrt{(p_{BFe} + p_{BL})^2 + p_{Fe}^2} \quad (6)$$

où

p_S est la puissance apparente totale spécifique, en VA/kg;

p_{BFe} est la puissance réactive spécifique du noyau, en VA/kg;

p_{BL} est la puissance réactive spécifique de l'entrefer, en VA/kg;

p_{Fe} est la perte de puissance spécifique, en W/kg.

3.9

longueur du circuit magnétique

moyenne arithmétique de la plus grande et de la plus petite longueur de circuit du noyau en négligeant les rayons

NOTE Les détails de calcul pour chaque noyau sont donnés aux paragraphes 13.3 à 13.10.

3.10 Symboles

A_{Fe}	section du noyau, en mm ² ;
$\hat{B}$	densité de flux de crête, en T;
$\hat{B}_n$	densité de flux de crête nominale, en T;
$\hat{B}_0$	densité de flux de crête pour les caractéristiques de la puissance réactive spécifique, en dT;
C_1	constante 1 du noyau, en mm ⁻¹ ;
C_2	constante 2 du noyau, en mm ⁻³ ;
c_1, c_2	constantes pour les caractéristiques de la puissance réactive spécifique;
c_3, c_4	constantes pour les caractéristiques de la perte de puissance spécifique;
d	largeur de la branche, en mm;
f	fréquence, en Hz;
$\hat{H}$	intensité du champ de crête, en A/m;
h_p	hauteur d'empilement, en mm;
I	courant, en A;
I_1, I_2, I_3	courants dans les phases des noyaux triphasés, en A;
$\hat{J}$	densité de flux de crête, en T;
l	longueur du circuit magnétique, en mm;
l_{Fe}	longueur du circuit magnétique, en mm;
l_{Fe1}, l_{Fe2}	longueurs du circuit magnétique pour les noyaux triphasés, en mm;
l_L	longueur du circuit de l'entrefer, en µm;
l_q	longueur du circuit magnétique perpendiculaire à la direction de l'enroulement, en mm;
l_w	longueur du circuit magnétique dans la direction de l'enroulement, en mm;
m_{Fe}	masse du noyau, en kg;
N	nombre de spires;
N_1	nombre de spires de l'enroulement N_1 ;
N_2	nombre de spires de l'enroulement N_2 ;
P_1, P_2, P_3	pertes de puissance dans les phases des noyaux triphasés, en W;
P_{BFe}	puissance réactive du noyau, en VA;
P_{BL}	puissance réactive de l'entrefer, en VA;
P_{Fe}	perte de puissance, en W;
P_m	valeur d'essai de la perte de puissance, en W;
P_S	puissance apparente totale, en VA;

p_B	puissance réactive spécifique, en VA/kg;
p_{BFe}	puissance réactive spécifique du noyau, en VA/kg;
p_{BL}	puissance réactive spécifique de l'entrefer, en VA/kg;
p_{Fe}	perte de puissance spécifique, en W/kg;
p_{Fe0}	valeur cardinale pour la perte de puissance spécifique, en W/kg;
p_S	puissance apparente totale spécifique, en VA/kg;
p_{S0}	valeur cardinale de la puissance apparente totale, en VA/kg;
$p_{S, \sin}$	puissance apparente totale spécifique du courant sinusoïdal, en VA/kg;
R_1	résistance de l'enroulement N_1 , en Ω ;
R_2	résistance de l'enroulement N_2 , en Ω ;
R_n	résistance de précision, en Ω ;
R_V	résistance du voltmètre, en Ω ;
R_W	résistance du circuit de tension du wattmètre, en Ω ;
U	tension, en V;
U_1	tension de la source, en V;
$U_{2 \text{ r.m.s}}$	tension de l'enroulement N_2 , en V;
$U_{2 \text{ avg}}$	tension de l'enroulement N_2 , en V;
$\hat{U}_n$	valeur de crête de la tension aux bornes de R_n , en V;
V_{Fe}	volume du noyau, en mm ³ ;
x	facteur de tolérance;
y	valeur auxiliaire pour les caractéristiques de la puissance réactive spécifique;
y_1, y_2	constantes pour les caractéristiques de la puissance réactive spécifique;
y_3	constante pour les caractéristiques de la perte de puissance spécifique;
η	facteur d'empilement;
μ_0	constante magnétique, en H/cm ($4 \cdot \pi \cdot 10^{-9}$ H/cm);
μ_a	perméabilité d'amplitude;
μ_i	perméabilité initiale;
π	dans la présente norme = 3,1416;
ρ	densité de l'alliage du noyau, en kg/dm ³ .

4 Matériaux et épaisseurs des tôles découpées

4.1 Matériaux

Les tôles découpées sont constituées d'un des matériaux spécifiés dans le Tableau 1.

Tableau 1 – Alliages et aciers magnétiques préférentiels utilisés pour les tôles découpées

Matériau	Composition approximative ajoutée au fer	Densité kg/dm ³	Désignation	
			CEI 60404-1	CEI 60404-8-4 CEI 60404-8-7
Acier au silicium non orienté	1 % à 3 % de silicium	7,65	C 21	M 270-35A 5 M 330-36A 5 M 330-50A 5
		7,7		M 400-50A 5 M 530-50A 5
		7,8		M 800-50A 5
Acier au silicium à grains orientés	3,2 % de silicium	7,65	C 22	M 165-35S 5
Alliages fer-nickel	72 % à 83 % de nickel	8,7	E 1	
	45 % à 50 % de nickel (orienté et non orienté)	8,25	E 3	
	35 % à 40 % de nickel	8,15	E 4	
Alliages fer-cobalt	47 % à 50 % de cobalt (isotrope)		F 1	

4.2 Epaisseur nominale des tôles découpées

L'épaisseur des tôles découpées doit être sélectionnée parmi une des valeurs spécifiées dans le Tableau 2, en fonction du matériau utilisé.

Tableau 2 – Matériau et épaisseur des tôles découpées

Désignation du matériau	Epaisseur						
	mm						
	0,5	0,38	0,35	0,3	0,2	0,1	0,05
C 21	o	-	o	-	-	-	-
C 22	-	-	o	-	-	-	-
E 1	-	x	x	o	o	o	x
E 3 non orienté	-	x	x	o	o	o	x
E 3 à grains orientés	-	-	-	-	-	o	x
E 4	-	x	x	o	o	o	x
F 1	-	-	x	o	o	o	x

NOTE o: valeur préférentielle, x: habituelle, -: inhabituelle.

Tableau 3 – Tolérance sur l'épaisseur des tôles découpées

Désignation du matériau	Tolérances	
	mm	
	Epaisseur 0,5 mm	Epaisseur 0,35 mm
C 21	± 0,04	± 0,028
C 22	-	± 0,03

Le facteur d'empilement minimal η pour les épaisseurs et les matériaux utilisés ne doit pas être inférieur aux valeurs indiquées dans le Tableau 4. Ces valeurs sont valides pour des empilements de hauteur supérieure ou égale à 10 mm soumis à une pression uniforme de 15 kN/m² perpendiculaire à la tôle découpée.

Epaisseur des tôles découpées mm	Facteur d'empilement minimal η		
	Acier au silicium non orienté C 21	Acier au silicium à grains orientés C 22	Alliages fer-nickel et fer-cobalt E, F
0,5	0,95	—	—
0,35	0,94	0,95	0,94
0,30	—	—	0,92
0,20	—	—	0,9
0,10	0,9	0,9	0,85
0,05	-	0,88	0,8

La désignation contient toutes les informations nécessaires pour fournir une description suffisante et sans ambiguïté des tôles découpées.

5.1.1 Formes des contours des tôles découpées

Tôle découpée

Numéro de cette spécification

Indication que cette désignation est différente d'éventuelles désignations nationales utilisées

Forme et taille selon 13.3 à 13.10

Indication des trous, H avec trous, X sans trous

Matériau conforme au Tableau 1

5.1.2 Forme spécifiée avec bandes de tôles découpées

LAM IEC 60740-1 YSUI 1-50 X M 165-35S 5

	Tôle découpée
	Numéro de cette norme
	Indication que cette désignation est différente d'éventuelles désignations nationales utilisées
	Indication que la forme est faite de bandes de tôles
	Forme et taille selon 13.4.2 ou 13.5.2
	Indication des trous, H avec trous, X sans trous
	Matériau conforme au Tableau 1

IEC 1196/05

5.2 Bandes de tôles découpées pour formes spécifiées

5.2.1 Bandes de tôles découpées pour culasses

LAM IEC 60740-1 YSUI 1-50 Y X M 165-35S 5

	Tôle découpée
	Numéro de cette norme
	Indication que cette désignation est différente d'éventuelles désignations nationales utilisées
	Indication que la forme est faite de bandes de tôles
	Forme et taille selon 13.4.2 ou 13.5.2
	Indication pour bandes de tôles pour culasses
	Indication des trous, H avec trous, X sans trous
	Matériau conforme au Tableau 1

IEC 1197/05

5.2.2 Bandes de tôles découpées pour branches

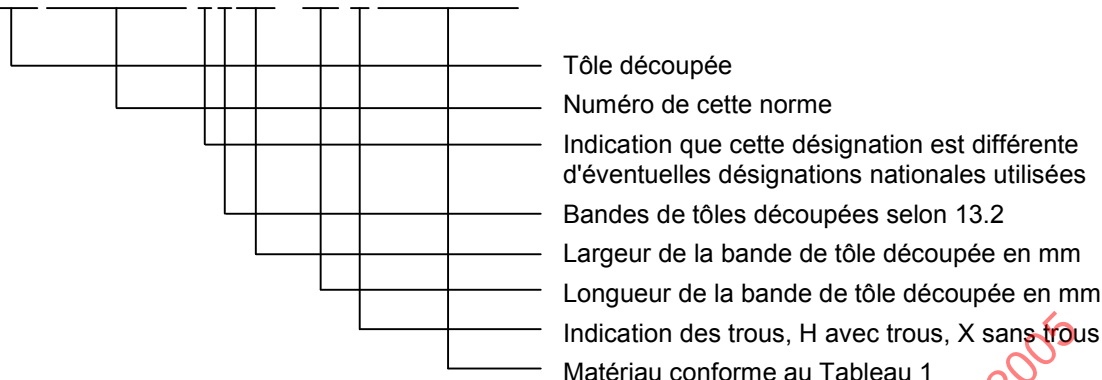
LAM IEC 60740-1 YSUI 1-50 L X M 165-35S 5

	Tôle découpée
	Numéro de cette norme
	Indication que cette désignation est différente d'éventuelles désignations nationales utilisées
	Indication que la forme est faite de bandes de tôles
	Forme et taille selon 13.4.2 ou 13.5.2
	Indication pour bandes de tôles pour branches
	Indication des trous, H avec trous, X sans trous
	Matériau conforme au Tableau 1

IEC 1198/05

5.3 Bandes de tôles découpées pour tôles découpées non spécifiées

LAM IEC 60740-1 YS100 × 500 X M 165-35S 5



IEC 1199/05

6 Conditionnement et marquage

Les tôles découpées doivent être conditionnées pour le transport de telle sorte qu'elles ne seront pas détériorées. Sauf spécification contraire, toutes les parties servant à la conception d'une couche de tôles découpées doivent être conditionnées dans une unité d'emballage.

Tous les emballages doivent comporter les informations suivantes:

- désignation des tôles découpées;
- quantité par masse ou par nombre;
- identification de lot du fabricant ou date de fabrication;
- fabricant.

Exemple de marquage:

- tôle découpée: LAM IEC 60740-1 YEI 1-40 H M 330-35A 5
- quantité:
- date de fabrication:
- fabricant:

7 Essais électriques

7.1 Généralités

Des essais électriques pour des tôles découpées empilées doivent être réalisés pour les matériaux appropriés spécifiés au Tableau 1 en fonction des paramètres d'essais spécifiés aux Tableaux 5, 6 et 7. Les paramètres efficaces sont présentés aux paragraphes 7.2 à 7.4.

7.2 Constantes des noyaux

Les constantes des noyaux des tôles découpées sont calculées comme suit:

$$C_1 = \frac{l_{Fe}}{A_{Fe}} \quad (7)$$

$$C_2 = \frac{l_{Fe}}{A_{Fe}^2} \quad (8)$$

où

C_1 est la constante 1 du noyau, en mm^{-1} ;

C_2 est la constante 2 du noyau, en mm^{-3} ;

l_{Fe} est la longueur du circuit magnétique, en mm, calculée comme indiqué dans 7.3;

A_{Fe} est la section du noyau, en mm^2 , en tenant compte du facteur d'empilement η , voir 7.4.

En outre, le volume du noyau, en mm^3 , et la masse du noyau, en kg, sont calculés comme suit:

$$V_{\text{Fe}} = l_{\text{Fe}} \cdot A_{\text{Fe}} \quad (9)$$

$$m_{\text{Fe}} = V_{\text{Fe}} \cdot \rho \quad (10)$$

où ρ est la densité de l'alliage, en kg/dm^3 .

Les paramètres efficaces des noyaux de tôles découpées de section carrée et un facteur d'empilement de 0,95 sont représentés aux Tableaux 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26 et 27. Pour les tôles découpées des paragraphes 13.3, 13.4.1 et 13.5.1, les équations pour les constantes des noyaux sont données après les tableaux associés.

7.3 Longueur de circuit magnétique

La longueur du circuit magnétique l_{Fe} est calculée comme la moyenne arithmétique de la plus grande et de la plus petite longueur de circuit du noyau en négligeant les rayons.

NOTE Les détails de calcul pour chaque noyau sont donnés dans 13.3, 13.4.1 et 13.5.1.

7.4 Section des noyaux

La section des noyaux est calculée comme le produit de la largeur de la branche (centrale), de la hauteur de l'empilement et du facteur d'empilement.

$$A_{\text{Fe}} = d \cdot h_p \cdot \eta \quad (11)$$

où

A_{Fe} est la section du noyau, en mm^2 ;

d est la largeur de la branche, en mm;

h_p est la hauteur d'empilement, en mm;

η est le coefficient d'empilement.

Pour les noyaux à empilement carré ($h_p = d$) représentés dans les Tableaux 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26 et 27 et avec $\eta = 0,95$, la section du noyau est:

$$A_{\text{Fe}} = 0,95 \cdot d^2 \quad (12)$$

Pour les autres hauteurs d'empilement et les facteurs d'empilement différents de ceux du Tableau 4, les valeurs pour A_{Fe} et C_1 doivent être corrigées en les multipliant par les facteurs suivants:

Le facteur pour A_{Fe} est:
$$\frac{h_p \cdot \eta}{d \cdot 0,95}$$

Le facteur pour C_1 est:
$$\frac{d \cdot 0,95}{h_p \cdot \eta}$$

NOTE En variante, pour un empilement de noyaux donné, la section des noyaux peut être déterminée ainsi:

Pour YEI, YEx, YUI et YM:

$$A_{Fe} = \frac{m_{Fe}}{l_{Fe} \cdot \rho} \quad (13)$$

8 Conditions générales pour les mesures électriques

8.1 Conditions atmosphériques

Sauf indication contraire, tous les essais doivent être réalisés à la température de la salle.

8.2 Bobines d'essai

Les essais électriques des Articles 15 et 16 sont valides pour l'empilement carré. La hauteur d'empilement de la bobine d'essai et du noyau peut être changée, si les valeurs ne sont pas modifiées. Toutefois, les bobines d'essai doivent être adaptées à l'empilement des tôles découpées à soumettre à l'essai. L'enroulement de tension N_2 doit être l'enroulement intérieur et être aussi proche que possible du noyau, et sa résistance R_2 doit être petite par rapport à la résistance de sa charge.

La résistance dans le circuit d'alimentation, y compris la résistance R_1 de la bobine et la résistance du dispositif de mesure du courant (ampèremètre, amplificateur de courant ou résistance de précision), doit être faible de telle sorte qu'elle ne génère pas de déformation notable de la tension.

8.3 Noyaux d'essai

Physiquement, les tôles découpées doivent être conformes aux exigences des Articles 4 et 13 et doivent être sélectionnées aléatoirement parmi celles qui sont complètement traitées pour l'application finale. Elles doivent être entrelacées sous la forme d'un empilement et doivent être constituées de nombres égaux de toutes les parties nécessaires à la conception d'une couche complète de tôles découpées.

NOTE Lorsque de l'acier au silicium non orienté et à grains orientés est utilisé, les tôles découpées peuvent être entrelacées de manière équilatérale. En cas d'arbitrage uniquement, elles doivent être entrelacées une par une dans l'empilement.

Les noyaux d'essai constitués de bandes de tôles découpées font l'objet d'un accord entre le client et le fabricant.

8.4 Résidu harmonique de la tension

Afin d'obtenir des résultats comparables, une densité de flux sinusoïdale doit être utilisée pour les mesures. Pendant l'essai, le résidu harmonique ne doit pas dépasser 6 %. Sur la Figure 1a, deux voltmètres V_1 et V_2 sont connectés en parallèle à l'enroulement N_2 . Le premier mesure la valeur efficace et le deuxième mesure la valeur moyenne. Le facteur de forme doit être calculé à partir du rapport entre la valeur efficace et la valeur moyenne. Si ce facteur de forme est compris entre 1,10 et 1,12 et si en même temps la forme d'onde observée sur l'oscilloscope ne présente pas de déformations évidentes, alors le résidu harmonique de la tension secondaire aux bornes de l'enroulement N_2 et donc la densité de flux seront suffisamment petits.

9 Mesures à haute intensité de champ

9.1 Généralités

Un des circuits des Figures 1a, 1b ou 2 doit être utilisé. Les conditions d'essais doivent être conformes aux valeurs spécifiées dans le Tableau 5. Les certificats d'essai pour les lots de livraison font l'objet d'un accord entre le client et le fabricant.

Tableau 5 – Conditions d'essais pour les matériaux C 21, C 22 et F 1 pour la perte de puissance et la puissance apparente totale

Désignation du matériau	Épaisseur mm	Fréquence Hz	Densité de flux de crête T
Acier au silicium non orienté C 21	0,35 et 0,5	50 ou 60	1,5
	0,1	400	1,0
Acier au silicium à grains orientés C 22	0,35	50 ou 60	1,7
	0,1 et 0,15	400	1,0
Alliages fer-cobalt F 1	0,2 et 0,35	50 ou 60	2,0
	0,1	400	1,7

Les symboles suivants sont utilisés pour les équations suivantes:

U_2	est la tension de l'enroulement N_2 , en V;
f	est la fréquence, en Hz;
$\hat{B}$	est la densité de flux de crête, en T;
A_{Fe}	est la section du noyau, en mm ² (voir 7.4);
I	est le courant, en A;
I_1, I_2, I_3	sont les courants dans les phases des noyaux triphasés, en A;
m_{Fe}	est la masse du noyau, en kg;
N_1	est le nombre de spires de l'enroulement N_1 ;
N_2	est le nombre de spires de l'enroulement N_2 ;
P_{Fe}	est la perte de puissance, en W;
P_m	est la valeur d'essai de la perte de puissance, en W;
P_S	est la puissance apparente totale, en VA;
P_1, P_2, P_3	est la perte de puissance dans les phases des noyaux triphasés, en W;
R_2	est la résistance de l'enroulement N_2 , en Ω ;
R_V	est la résistance du voltmètre V_2 , en Ω ;
R_W	est la résistance de l'enroulement de tension du wattmètre, en Ω .

9.2 Mesure de la perte de puissance

9.2.1 Perte de puissance pour des noyaux monophasés

Lorsque le circuit de la Figure 1a est utilisé, les deux commutateurs sont fermés pour déterminer le facteur de forme (voir 8.4). Le commutateur S_1 est ensuite ouvert et la tension de la source U_1 est réglée pour que la valeur de la tension secondaire U_2 sur le voltmètre de détection de la tension moyenne V_2 soit la valeur calculée par l'équation suivante:

$$U_2 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{\sqrt{2}} \cdot A_{Fe} \cdot \hat{B} \cdot N_2 \cdot \frac{1}{1 + R_2 \cdot \left(\frac{1}{R_V} + \frac{1}{R_W} \right)} \quad (14)$$

La valeur du wattmètre est lue avec le commutateur S_1 ouvert et le commutateur S_2 fermé. En négligeant les pertes du cuivre dans l'enroulement N_1 et dans l'ampèremètre, la perte de puissance P_{Fe} est calculée en utilisant l'équation suivante à partir de la perte de puissance mesurée P_m :

$$P_{Fe} = \left[P_m \cdot \frac{N_1}{N_2} - U_2^2 \cdot \left(\frac{1}{R_V} + \frac{1}{R_W} \right) \right] \cdot \left[1 + R_2 \cdot \left(\frac{1}{R_V} + \frac{1}{R_W} \right) \right] \quad (15)$$

NOTE 1 Le résultat de la mesure est souvent exprimé en termes de perte de puissance spécifique $p_{Fe} = \frac{P_{Fe}}{m_{Fe}}$, en W/kg.

Lorsque des instruments intégrant des préamplificateurs linéaires (voir Figure 1b) ou des dispositifs similaires présentant une impédance d'entrée très élevée sont utilisés pour les mesures de tension, et lorsque les valeurs de tension et de puissance sont lues directement, ces équations sont réduites aux expressions suivantes:

$$U_2 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{\sqrt{2}} \cdot A_{Fe} \cdot \hat{B} \cdot N_2 \quad (16)$$

$$P_{Fe} = P_m \cdot \frac{N_1}{N_2} \quad (17)$$

NOTE 2 Lorsque ces impédances ne sont pas extrêmement élevées, mais restent nettement supérieures à R_2 , l'équation simplifiée suivante peut être utilisée:

$$P_{Fe} = P_m \cdot \frac{N_1}{N_2} - U_2^2 \cdot \left(\frac{1}{R_V} + \frac{1}{R_W} \right) \quad (18)$$

Si la lecture directe n'est pas possible, par exemple si des préamplificateurs externes sont utilisés, les gains de ces amplificateurs doivent être pris en compte.

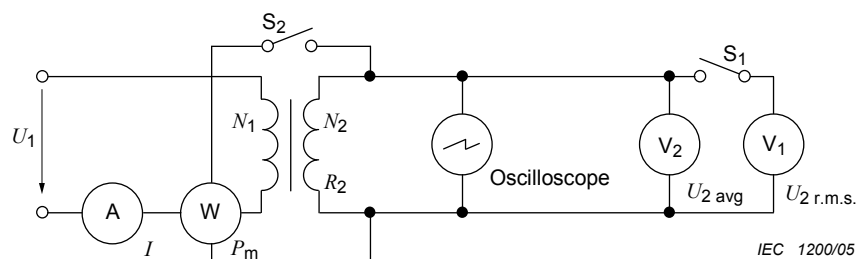


Figure 1a – Méthode directe

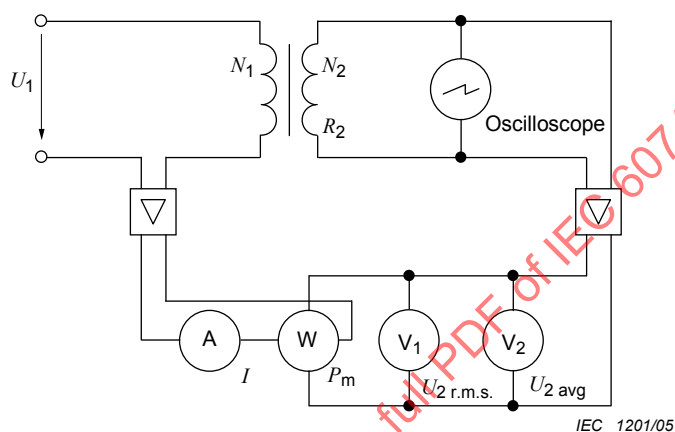


Figure 1b – Méthode indirecte

Figure 1 – Mesures à haute intensité de champ, méthode directe et méthode indirecte, noyaux monophasés

9.2.2 Perte de puissance pour des noyaux triphasés

La perte de puissance dans les noyaux triphasés doit être mesurée à l'aide de trois wattmètres en utilisant le circuit représenté à la Figure 2. La tension secondaire induite doit être mesurée au niveau de l'enroulement secondaire de la branche du milieu. La perte de puissance totale est la somme des trois phases en conservant le signe algébrique correct.

$$P_{Fe} = P_1 + P_2 + P_3 \quad (19)$$

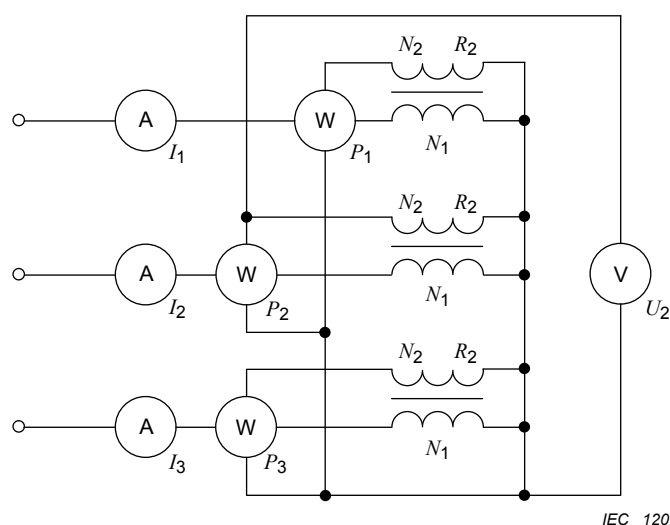


Figure 2 – Mesures à haute intensité de champ, méthode directe, noyaux triphasés

9.3 Mesure de la puissance apparente totale

9.3.1 Puissance apparente totale pour des noyaux monophasés

Lorsque le circuit de la Figure 1a est utilisé, les deux commutateurs sont fermés pour déterminer le facteur de forme (voir 8.4). Le commutateur S_1 est ensuite ouvert et la tension primaire ajustée comme cela est décrit à 9.2.1. Lorsque les deux commutateurs S_1 et S_2 sont ouverts, le courant primaire I et la tension secondaire U_2 sont mesurés. La puissance apparente totale se calcule en utilisant l'équation suivante:

$$P_S = U_2 I \frac{N_1}{N_2} \cdot \frac{R_V + R_2}{R_V} \quad (20)$$

NOTE Le résultat de la mesure est souvent exprimé en termes de puissance apparente totale spécifique $p_S = P_S / m_{Fe}$, en VA/kg (5).

Lorsque des instruments intégrant des préamplificateurs linéaires (voir Figure 1b) ou des dispositifs similaires présentant une impédance d'entrée très élevée sont utilisés pour les mesures de tension, et lorsque les valeurs de tension et de puissance sont lues directement, cette équation est réduite à l'expression suivante:

$$P_S = U_2 I \frac{N_1}{N_2} \quad (21)$$

Si la lecture directe n'est pas possible, par exemple si des préamplificateurs externes sont utilisés, les gains de ces amplificateurs doivent être pris en compte.

9.3.2 Puissance apparente totale pour des noyaux triphasés

La puissance apparente totale pour les noyaux triphasés doit être mesurée comme représenté à la Figure 2 et elle est calculée comme la somme des trois courants multipliés par la tension U_2 :

$$P_S = U_2 (I_1 + I_2 + I_3) \quad (22)$$

10 Mesures à basse et moyenne intensité de champ

10.1 Généralités

Le circuit de la Figure 3 doit être utilisé. Les conditions de mesure doivent être conformes aux valeurs spécifiées dans le Tableau 6 et dans le Tableau 7. Les certificats d'essai pour les lots de livraison font l'objet d'un accord entre le client et le fabricant.

Tableau 6 – Conditions de mesure de la perméabilité d'amplitude de noyaux utilisant des tôles découpées faites d'acier au silicium

Epaisseur mm	Fréquence Hz	Densité de flux de crête T
0,05 à 0,5	50 ou 60	0,1 ou 1,0

Les symboles suivants sont utilisés pour les équations suivantes:

- A_{Fe} est la section du noyau, en mm² (voir 7.4);
 $\hat{B}$ est la densité de flux de crête, en T;
 C_1 est la constante 1 du noyau, en cm⁻¹ (voir 7.2);
 f est la fréquence, en Hz;
 $\hat{H}$ est l'intensité du champ de crête, en A/m;
 μ_0 est la constante magnétique, en H/cm ($4 \cdot \pi \cdot 10^{-9}$ H/cm);
 μ_a est la perméabilité d'amplitude;
 N_1 est le nombre de spires de l'enroulement N_1 ;
 N_2 est le nombre de spires de l'enroulement N_2 ;
 R_2 est la résistance de l'enroulement N_2 , en Ω ;
 R_n est la valeur de la résistance de précision, en Ω ;
 R_V est la résistance du voltmètre V_2 , en Ω ;
 U_2 est la tension de l'enroulement N_2 , en V;
 $\hat{U}_n$ est la valeur de crête de la tension aux bornes de R_n , en V.

10.2 Mesure de la perméabilité d'amplitude

La tension primaire est réglée pour que la valeur de la tension efficace U_2 lue sur le voltmètre V_2 corresponde à la valeur calculée par l'équation suivante:

$$U_2 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{\sqrt{2}} \cdot A_{Fe} \cdot \hat{B} \cdot N_2 \cdot \frac{R_V}{R_V + R_2} \quad (23)$$

La valeur de crête $\hat{I}$ du courant primaire est mesurée au moyen d'un voltmètre de crête connecté aux bornes d'une résistance de précision connue R_n dans le circuit primaire ou au moyen d'une sonde. La perméabilité d'amplitude μ_a est calculée à partir de l'équation suivante:

$$\mu_a = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{\hat{B}}{\hat{H}} = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot U_2}{\hat{U}_n} \cdot \frac{C_1}{2 \cdot \pi \cdot f} \cdot \frac{1}{N_1 \cdot N_2} \cdot R_n \cdot \frac{R_V + R_2}{R_V} \quad (24)$$

NOTE 1 Pour les très faibles courants μ_a tend vers la perméabilité initiale μ_i .

NOTE 2 Dans certains cas, il est pratique d'utiliser la perméabilité complexe et ses composantes.

NOTE 3 Les spécifications des perméabilités minimales pour les tôles découpées en matériaux métalliques magnétiquement doux sont présentées dans la CEI 60740-2.

Tableau 7 – Conditions de mesure de la perméabilité d'amplitude de noyaux utilisant des tôles découpées faites d'alliages fer-nickel

Désignation du matériau	Epaisseur mm	Fréquence préférentielle Hz			Amplitude de l'intensité du champ A/m
		50 ou 60	300 ou 400	1000	
E 1	0,05	x	x	x	0,2 ou 0,4
	0,1	x	x	-	
	0,2	x	-	-	
	0,35	x	-	-	
E 3 (orienté et non orienté)	0,05	x	x	-	0,4
	0,1	x	x	-	
	0,2	x	-	-	
	0,35	x	-	-	
E 4	0,05	x	x	x	0,4 ou 1,6
	0,1	x	x	-	
	0,2	x	-	-	
	0,35	x	-	-	

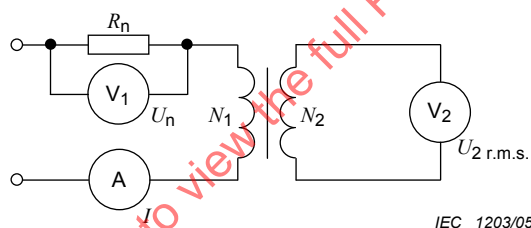


Figure 3 – Mesures à basse et moyenne intensité de champ

11 Gammes de tôles découpées préférentielles

Cet article décrit les gammes et les formes préférentielles de largeurs de branche d . Le Tableau 8 est un résumé de ces gammes et formes avec quelques informations générales.

Tableau 8 – Résumé des gammes préférentielles

Forme	Article	Largeur de branche <i>d</i> mm	Description
YS	13.2	-	Bandes de tôle découpée
YEI 1	13.3	10 jusqu'à 80	Gamme, permettant des perforations sans déchets
YUI 1	13.4	10 jusqu'à 80	Gamme, permettant des perforations sans déchets
YUI 2	13.5	10 jusqu'à 80	Gamme, permettant des perforations sans déchets
YEx 2	13.6	2,4 jusqu'à 12	Gamme avec petites dimensions
YEE 2-..L	13.7	6 jusqu'à 12	Gamme avec petites dimensions, utilisant deux longues parties en E
YEx 3	13.8	10 jusqu'à 40	Gamme avec petites dimensions et large zone de fenêtre
YEx 4	13.9	2,4 jusqu'à 12	Gamme avec petites dimensions et petite zone de montage
YM 1	13.10	5 jusqu'à 34	Gammes pour tôles découpées avec faible champ parasite

12 Dimensions et tolérances

12.1 Dimensions

Les dimensions ou la relation des dimensions et les tolérances des gammes préférentielles de tôles découpées sont spécifiées dans les tableaux des paragraphes 13.3 à 13.10. La tolérance sur l'épaisseur des tôles découpées est spécifiée dans le Tableau 3.

12.2 Tolérances

Les tolérances doivent être conformes aux exigences d'ISO 286-1. Les valeurs correspondantes aux désignations de référence en haut de chaque colonne de dimensions dans les tableaux des paragraphes 13.3 à 13.10 proviennent du Tableau 9.

Tableau 9 – Tolérance selon l'ISO 286-1

Gamme de taille mm	Code de tolérance ISO				
	IT 10 μm	IT 11 μm	IT 12 μm	IT 13 μm	IT 14 μm
jusqu'à 3	40	60	100	140	250
> 3 jusqu'à 6	48	75	120	180	300
> 6 jusqu'à 10	58	90	150	220	360
> 10 jusqu'à 18	70	110	180	270	430
> 18 jusqu'à 30	84	130	210	330	520
> 30 jusqu'à 50	100	160	250	390	620
> 50 jusqu'à 80	120	190	300	460	740
> 80 jusqu'à 120	140	220	350	540	870
> 120 jusqu'à 180	160	250	400	630	1000
> 180 jusqu'à 250	185	290	460	720	1150
> 250 jusqu'à 315	210	320	520	810	1300
> 315 jusqu'à 400	230	360	570	890	1400
> 400 jusqu'à 500	250	400	630	970	1550

NOTE Le code de tolérance indique la valeur de la tolérance en fonction de la dimension nominale.

Par exemple, dans le Tableau 17, YEx 2-10:

taille $a = 32$ mm avec la tolérance IT 12 js $= a \pm 0,5 \times 250 \mu\text{m} = 32 \text{ mm} \pm 0,125 \text{ mm}$;

taille $e = 22,4$ mm avec la tolérance + IT 11 $= e + 130 \mu\text{m} = 22,4 \text{ mm} + 0,13 \text{ mm}$.

12.3 Tolérances sur la symétrie

Les tolérances sur la symétrie des dimensions a et e par rapport à la ligne centrale ne doivent pas dépasser la moitié de la tolérance spécifiée sur la largeur de la branche (centrale), dimension d .

13 Dimensions et paramètres efficaces

13.1 Généralités

Dans les figures suivantes, le sens de l'enroulement est indiqué par une double flèche.

Les paragraphes 13.3 à 13.10 incluent les dimensions, les tolérances et les paramètres efficaces, avec leurs équations respectives. Les paramètres efficaces sont basés sur un facteur d'empilement $\eta = 0,95$ et une hauteur d'empilement $h_p = d$. Le calcul, dans le cas de différents facteurs d'empilement et de différentes hauteurs est présenté dans 7.4.

13.2 Bandes de tôles découpées de type YS

Les bandes de tôles découpées sont spécifiées comme des bandes simples de largeur nominale d et de longueur a . Pour les bandes de tôles découpées carrées, le sens d'enroulement doit être indiqué. Les trous sont le résultat d'un accord entre le client et le fabricant.

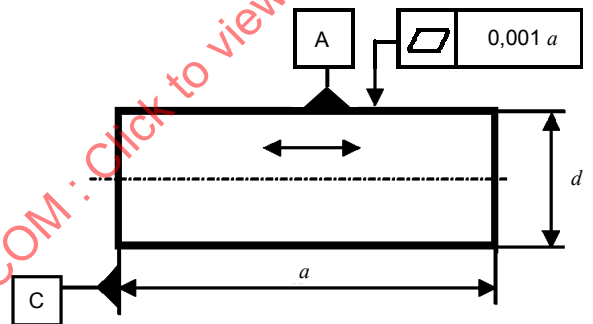


Figure 4 – Bandes de tôles découpées de type YS, dimensions et tolérances

Tableau 10 – Tolérances sur les bandes de tôles découpées

Longueur a mm	Tolérance mm	Largeur d mm	Tolérance mm
≤ 200	+0,25	≤ 150	+0,2
$> 200 \leq 400$	+0,3	$> 150 \leq 250$	+0,4
$> 400 \leq 800$	+0,35	> 250	+0,5
> 800	+0,5		

13.3 Tôles découpées de type YEI 1

Les tôles découpées de type YEI 1, de tailles allant de YEI 1-10 à YEI 1-80 sont habituelles. Les nombres 10 à 80 représentent la largeur nominale de la branche centrale.

Dimensions préférentielles d : 10, 13 (la largeur de la branche centrale des tôles découpées YEI 1-13 est 12,8 mm), 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 58, 64, 72 et 80 mm.

La relation entre les autres dimensions des tôles découpées de type YEI 1 et la dimension d est donnée dans le Tableau 11.

Il n'existe pas de relation fixe pour le diamètre des trous h et pour le facteur de tolérance x en fonction de la dimension d . Ces dimensions sont données dans le Tableau 12 par intervalles ajustés à la dimension d . Les dimensions sont représentées à la Figure 5.

Les tôles découpées dotées de trous sont le résultat d'un accord entre le client et le fabricant.

NOTE Pour les tôles découpées de type YEI 1, les carcasses de la CEI 61797-1, Type YEI 1, peuvent être utilisées.

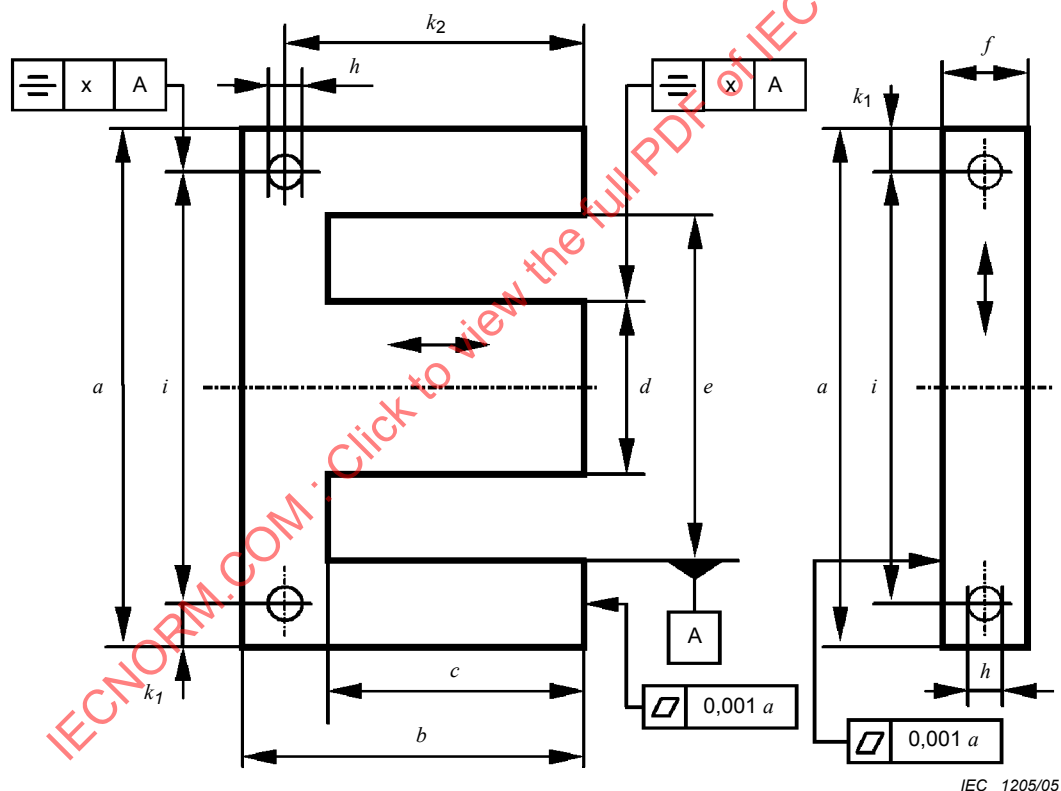


Figure 5 – Tôles découpées de type YEI 1, dimensions

Tableau 11 – Tôles découpées de type YEI 1, facteur de relation des dimensions et tolérances

Dimension	Facteur de relation	Code de tolérance
a	$3 d$	IT 12 js
b	$2 d$	IT 12 js
c	$1,5 d$	IT 12 JS
d	$1 d$	IT 12 js
e	$2 d$	IT 12JS
f	$0,5 d$	IT 12 js
i	$2,5 d$	IT 12 JS
k_1	$0,25 d$	-
k_2	$1,75 d$	IT 12 JS

Tableau 12 – Tôles découpées de type YEI 1, diamètre des trous et facteur de tolérance x

Dimension	Code de tolérance	Tôles découpées YEI 1-..., Dimension d mm							
		10 à 13	14 à 16	17 à 20	21 à 28	29 à 36	37 à 45	46 à 59	60 à 80
h	JS 14	-	3,5	3,5	4,5	5,5	6,6	8	10,5
x	-	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,5

Les paramètres efficaces sont calculés comme suit:

$$\text{Section du noyau} \quad A_{Fe} = d \cdot h_p \cdot \eta, \text{ en mm}^2 \quad (25)$$

$$\text{Longueur de circuit magnétique} \quad l_{Fe} = b + c + f + (a + e - d)/2 = 6 \cdot d, \text{ en mm} \quad (26)$$

$$\text{Volume du noyau} \quad V_{Fe} = A_{Fe} \cdot l_{Fe}, \text{ en mm}^3 \quad (27)$$

$$\text{Constante du noyau} \quad C_1 = l_{Fe} / A_{Fe}, \text{ en mm}^{-1} \quad (28)$$

où

d est la largeur de la branche, en mm;

h_p est la hauteur d'empilement, en mm;

η est le coefficient d'empilement.

13.4 Tôles découpées de type YUI 1

13.4.1 Formes des contours des tôles découpées de type YUI 1

Les tôles découpées de type YUI 1, de tailles allant de YUI 1-10 à YUI 1-80 sont habituelles. Les nombres 10 à 80 représentent la largeur approximative de la branche.

Dimensions préférentielles d : 10, 13, 16, 20, 25, 30, 34, 38, 44, 50, 56, 60, 70 et 80 mm.

La relation entre les autres dimensions des tôles découpées de type YUI 1 et la dimension d est donnée dans le Tableau 13.

Il n'existe pas de relation fixe pour le diamètre des trous h et pour le facteur de tolérance x en fonction de la dimension d . Ces dimensions sont données dans le Tableau 14 par intervalles ajustés à la dimension d . Les dimensions sont représentées à la Figure 6.

Les tôles découpées sans trous sont le résultat d'un accord entre le client et le fabricant.

NOTE Pour les tôles découpées de type YUI 1, les carcasses de la CEI 61797-1, Type YUI 1, peuvent être utilisées.

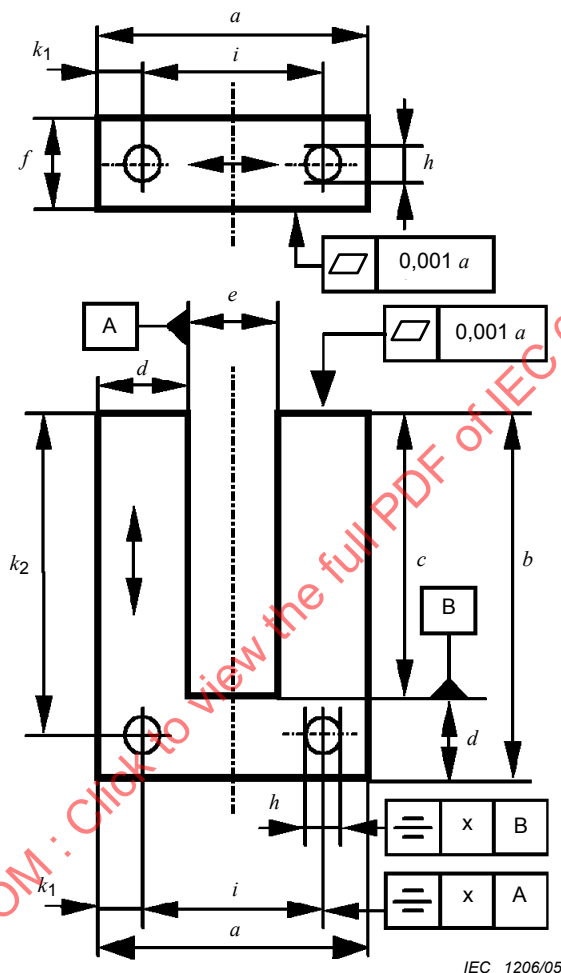


Figure 6 – Tôles découpées de type YUI 1, dimensions

Tableau 13 – Tôles découpées de type YUI 1, facteur de relation des dimensions et tolérances

Dimension	Facteur de relation	Code de tolérance
a	$3 d$	IT 12 js
b	$4 d$	IT 12 js
c	$3 d$	IT 12 JS
d	$1 d$	-
e	$1 d$	IT 12 JS
f	$1 d$	IT 12 js
i	$2 d$	IT 12 JS
k_1	$0,5 d$	-
k_2	$3,5 d$	IT 12 JS

Tableau 14 – Tôles découpées de type YUI 1, diamètre des trous et facteur de tolérance x

Dimensi on	Code de tolérance	Tôles découpées YUI 1-..., Dimension d mm							
		10 à 14	15 à 19	20 à 24	25 à 29	30 à 37	38 à 43	44 à 60	61 à 80
h	JS 14	3,5	4,5	4,5	5,5	7,8	11	11	15
x	-	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4

Les paramètres efficaces sont calculés comme suit:

Section du noyau $A_{Fe} = d \cdot h_p \cdot \eta$, en mm² (29)

Longueur de circuit magnétique $l_{Fe} = 2 \cdot b + 2 \cdot (a - d) = 12 \cdot d$, en mm (30)

Volume du noyau $V_{Fe} = A_{Fe} \cdot l_{Fe}$, en mm³ (31)

Constante du noyau $C_1 = l_{Fe} / A_{Fe}$, en mm⁻¹ (32)

où

d est la largeur de la branche, en mm;

h_p est la hauteur d'empilement, en mm;

η est le coefficient d'empilement.

13.4.2 Forme des bandes de tôles découpées de type YSUI 1

Les tôles découpées de type YUI 1 peuvent également être construites avec des bandes de tôles découpées. Le plan d'une couche de bandes séparées est représenté à la Figure 7. Les dimensions et les tolérances des bandes sont conformes aux dimensions et aux tolérances des formes des contours. Si cela fait l'objet d'un accord entre le client et le fabricant, les bandes peuvent comporter des trous (signe H). La taille et la position des trous doivent être analogues à celles des formes des contours de la Figure 6. D'autres trous sont le résultat d'un accord entre le client et le fabricant.

NOTE Pour les formes des bandes de tôles découpées de type YSUI 1, les carcasses de la CEI 61797-1, Type YUI 1, peuvent être utilisées.

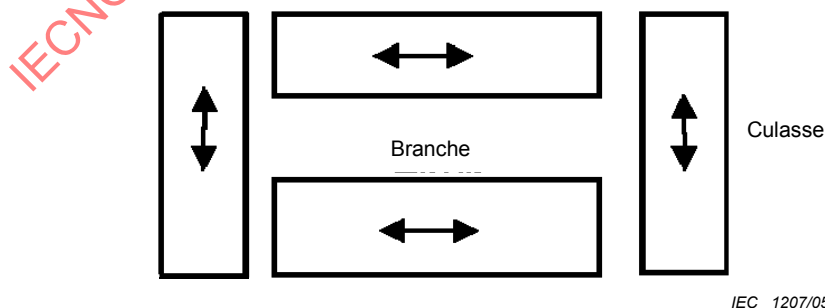


Figure 7 – Plan d'une couche pour les formes des bandes de tôles découpées de type YSUI 1

13.5 Tôles découpées de type YUI 2

13.5.1 Formes des contours des tôles découpées de type YUI 2

Les tôles découpées de type YUI 2, de tailles allant de YUI 2-10 à YUI 2-80 sont habituelles. Les nombres 10 à 80 représentent la largeur approximative de la branche.

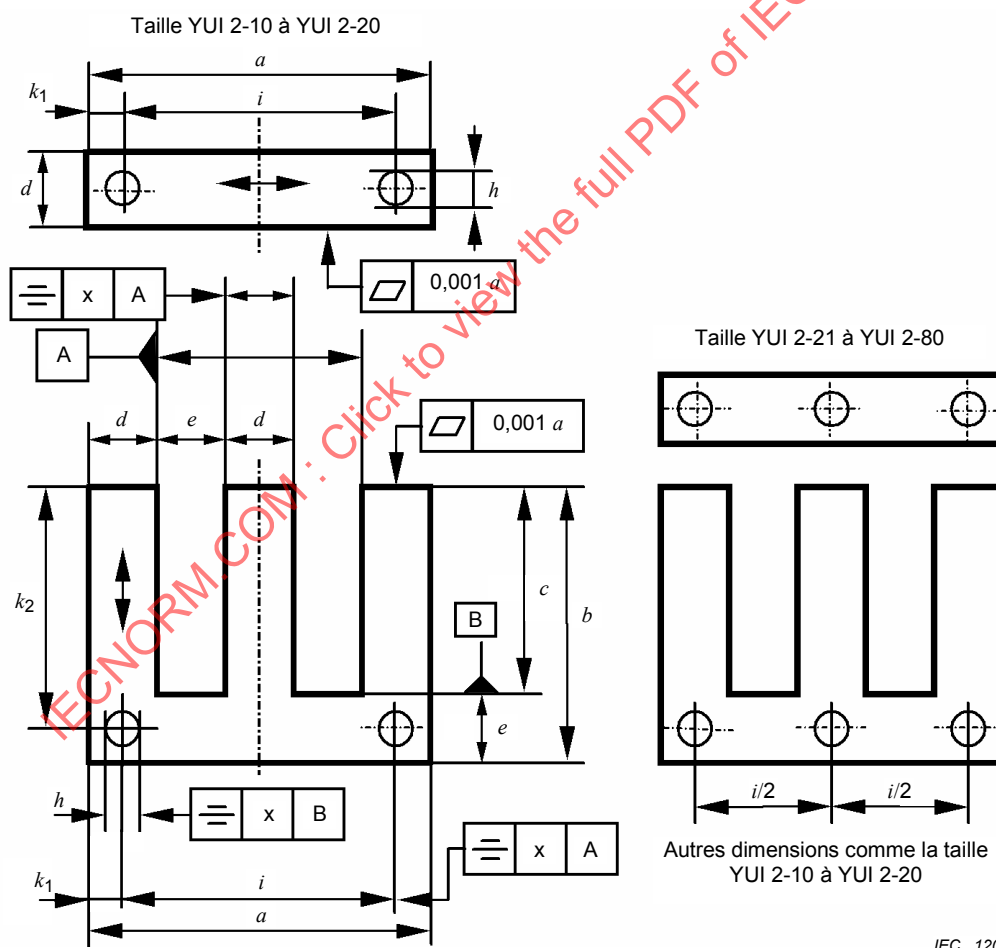
Dimensions préférentielles d : 10, 13, 16, 20, 25, 30, 34, 38, 44, 50, 56, 60, 70 et 80 mm.

La relation entre les autres dimensions des tôles découpées de type YUI 2 et la dimension d est donnée dans le Tableau 15.

Il n'existe pas de relation fixe pour le diamètre des trous h et pour le facteur de tolérance x en fonction de la dimension d . Ces dimensions sont données dans le Tableau 16 par intervalles ajustés à la dimension d . Les dimensions sont représentées à la Figure 8.

Les tôles découpées dotées de trous sont le résultat d'un accord entre le client et le fabricant.

NOTE Pour les tôles découpées de type YUI 2, les carcasses de la CEI 61797-1, Type YUI 1, peuvent être utilisées.



IEC 1208/05

Figure 8 – Tôles découpées de type YUI 2, dimensions

Tableau 15 – Tôles découpées de type YUI 2, facteur de relation des dimensions et tolérances

Dimension	Facteur de relation	Code de tolérance
a	$5 \cdot d$	IT 12 js
b	$4 \cdot d$	IT 12 js
c	$3 \cdot d$	IT 12 JS
d	$1 \cdot d$	IT 12 js
e	$1 \cdot d$	-
i	$4 \cdot d$	IT 12 JS
k_1	$0,5 \cdot d$	-
k_2	$3,5 \cdot d$	IT 12 JS

Tableau 16 – Tôles découpées de type YUI 2, diamètre des trous et facteur de tolérance x

Dimension	Code de tolérance	Tôles découpées YUI 2-..., Dimension d en mm						
		10 à 14	15 à 19	20 à 24	25 à 29	30 à 37	38 à 60	61 à 80
h	JS 14	3,5	4,5	4,5	5,5	7,8	11	15
x		0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4

Les paramètres efficaces sont calculés comme suit:

Section du noyau $A_{Fe} = d \cdot h_p \cdot \eta$, en mm²; (33)

Longueur de circuit magnétique $l_{Fe1} = b + d$, en mm; (34)

$l_{Fe2} = b + 3 \cdot d$, en mm; (35)

$l_{Fe} = l_{Fe1} + 2 \cdot l_{Fe2} = 19 \cdot d$; (36)

Volume du noyau $V_{Fe} = A_{Fe} \cdot l_{Fe}$, en mm³; (37)

Constante du noyau $C_1 = l_{Fe} / A_{Fe}$, en mm⁻¹. (38)

où

d est la largeur de la branche, en mm;

h_p est la hauteur d'empilement, en mm;

η est le coefficient d'empilement.

13.5.2 Forme des bandes de tôles découpées de type YSUI 2

Les tôles découpées de type YUI 2 peuvent également être construites avec des bandes de tôles découpées. Le plan d'une couche de bandes séparées est représenté à la Figure 9. Les dimensions et les tolérances des bandes sont conformes aux dimensions et aux tolérances des formes des contours. Si cela fait l'objet d'un accord entre le client et le fabricant, les bandes peuvent comporter des trous (signe H). La taille et la position des trous doivent être analogues à celles des trous des formes des contours de la Figure 8. D'autres trous sont le résultat d'un accord entre le client et le fabricant.

NOTE Pour les formes des bandes de tôles découpées de type YSUI 2, les carcasses de la CEI 61797-1, Type YUI 1, peuvent être utilisées.

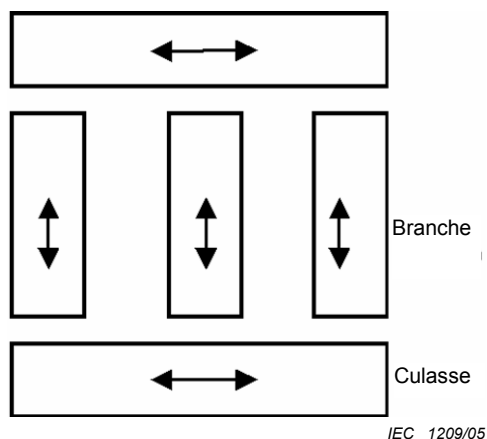


Figure 9 – Plan d'une couche pour les formes des bandes de tôles découpées de type YSUI 2

13.6 Tôles découpées de type YEx 2, YEE 2 et YEI 2

YEx 2 représente YEE 2 ou YEI 2. Le type YEE 2... L correspondant est décrit au paragraphe 13.7. Pour les noyaux de tôles découpées utilisant des tôles découpées YEE 2, se reporter à la CEI 61021-1 et à la CEI 61021-2.

NOTE Pour les tôles découpées de type YEx 2, les carcasses de la CEI 61797-1, Type YEx 2, peuvent être utilisées.

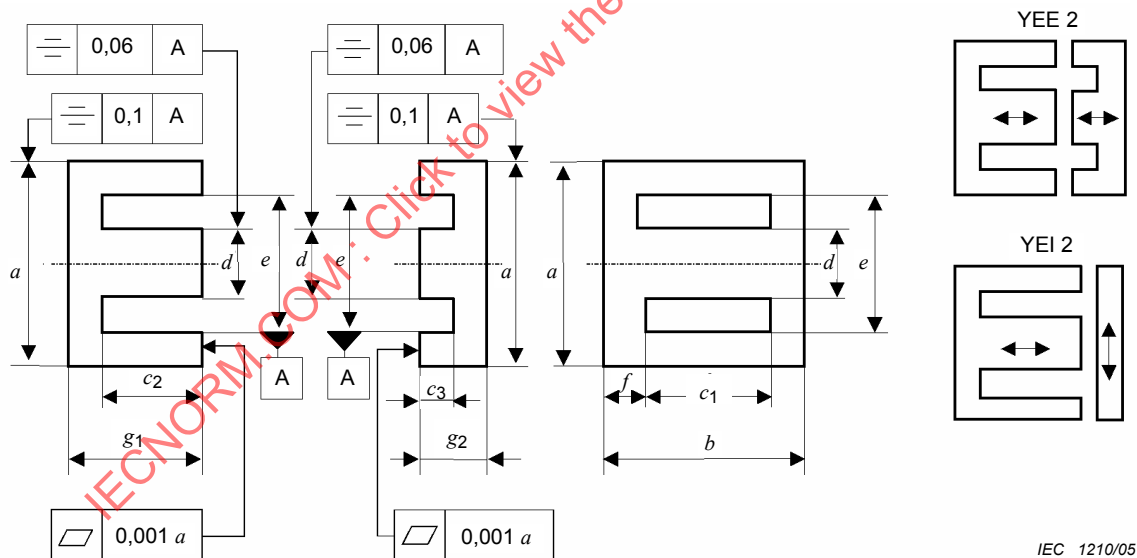


Figure 10 – Tôles découpées de type YEx 2, dimensions

Tableau 17 – Tôles découpées de type YEx 2, dimensions et tolérances

Désignation	Lettre de référence et code de tolérance (voir Tableau 9)									
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i> ₁	<i>c</i> ₂	<i>c</i> ₃	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i> ₁	<i>g</i> ₂
	IT 12 js	IT 13 js	+ IT 13 0	+ IT 12 0	+ IT 12 0	0 –IT 11	+ IT 11 0		IT 12 js	IT 12 js
YEx 2-2	8	8	5,6	4,3	1,3	2,4	5,6	1,2	5,5	2,5
YEx 2-3	10	10	7	5,5	1,5	3	7	1,5	7	3
YEx 2-4	12,6	12,6	8,8	6,7	2,1	3,8	8,8	1,9	8,6	4
YEx 2-5	16	16	11,2	8,6	2,6	4,8	11,2	2,4	11	5
YEx 2-6	20	20	14	11	3	6	14	3	14	6
YEx 2-8	25	25	17,4	13,2	4,2	7,6	17,4	3,8	17	8
YEx 2-10	32	32	22,4	17,2	5,2	9,6	22,4	4,8	22	10
YEx 2-12	40	40	28	22	6	12	28	6	28	12
Facteur de relation	$3,33 \cdot d$	$3,33 \cdot d$	$2,33 \cdot d$			$1 \cdot d$	$2,33 \cdot d$	$0,5 \cdot d$		

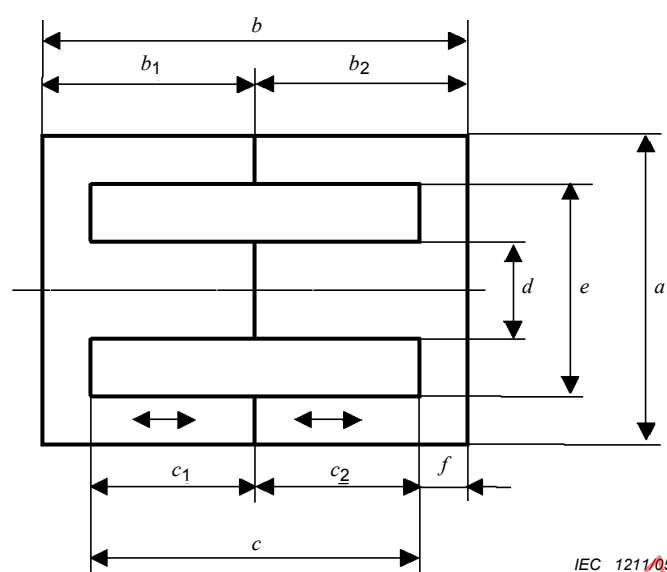
Tableau 18 – Tôles découpées de type YEx 2, paramètres efficaces

Désignation	Paramètres efficaces pour $h_p = d$ et $\eta = 0,95$			
	Section du noyau A_{Fe} mm ²	Longueur de circuit magnétique l_{Fe} mm	Volume du noyau V_{Fe} cm ³	Constante du noyau C_1 cm ⁻¹
YEx 2-2	5,47	19,2	0,105	35,1
YEx 2-3	8,55	24,0	0,205	28,1
YEx 2-4	13,7	30,2	0,414	22,0
YEx 2-5	21,9	38,4	0,841	17,5
YEx 2-6	34,2	48,0	1,64	14,0
YEx 2-8	54,9	59,8	3,28	10,9
YEx 2-10	87,6	76,8	6,73	8,77
YEx 2-12	136,8	96,0	13,1	7,02

Longueur de circuit magnétique $l_{Fe} = b + c_1 + (a + e - d) / 2$ (39)

13.7 Tôles découpées de type YEE 2-..L

NOTE Pour les tôles découpées de type YEE 2-..L, les carcasses de la CEI 61797-1, Type YEE 2-..L, peuvent être utilisées.



$$b_1 = b_2 \quad c_1 = c_2$$

Figure 11 – Tôles découpées de type YEE 2-..L, utilisant deux longues parties en E, dimensions

Tableau 19 – Tôles découpées de type YEE 2-..L, utilisant deux longues parties en E, dimensions et tolérances

Désignation	Lettre de référence et code de tolérance (voir Tableau 9)					
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>
	IT 13 js	IT 14 js	IT 14 JS	0 -IT 11	+IT 11 0	
YEE 2-6 L	20	28	22	6	14	3
YEE 2-8 L	25	34	26,4	7,6	17,4	3,8
YEE 2-10 L	32	44	34,4	9,6	22,4	4,8
YEE 2-12 L	40	56	44	12	28	6
Facteur de relation	$3,33 \cdot d$	$4,67 \cdot d$	$3,67 \cdot d$	$1 \cdot d$	$2,33 \cdot d$	$0,5 \cdot d$

Tableau 20 – Tôles découpées de type YEE 2-..L, utilisant deux longues parties en E, paramètres efficaces

Désignation	Paramètres efficaces pour $h_p = d$ et $\eta = 0,95$			
	Section du noyau A_{Fe} mm ²	Longueur de circuit magnétique l_{Fe} mm	Volume du noyau V_{Fe} cm ³	Constante du noyau C_1 cm ⁻¹
YEE 2-6 L	34,2	64	2,19	18,7
YEE 2-8 L	54,9	77,8	4,27	14,2
YEE 2-10 L	87,6	100,8	8,83	11,5
YEE 2-12 L	136,8	128	17,51	9,36

Longueur de circuit magnétique $l_{Fe} = b + c + (a + e - d) / 2$ (40)

13.8 Tôles découpées de type YEx 3, YEE 3, YEF 3, YEI 3 et YEL 3

YEx 3 représente YEE 3, YEF 3, YEI 3 ou YEL 3.

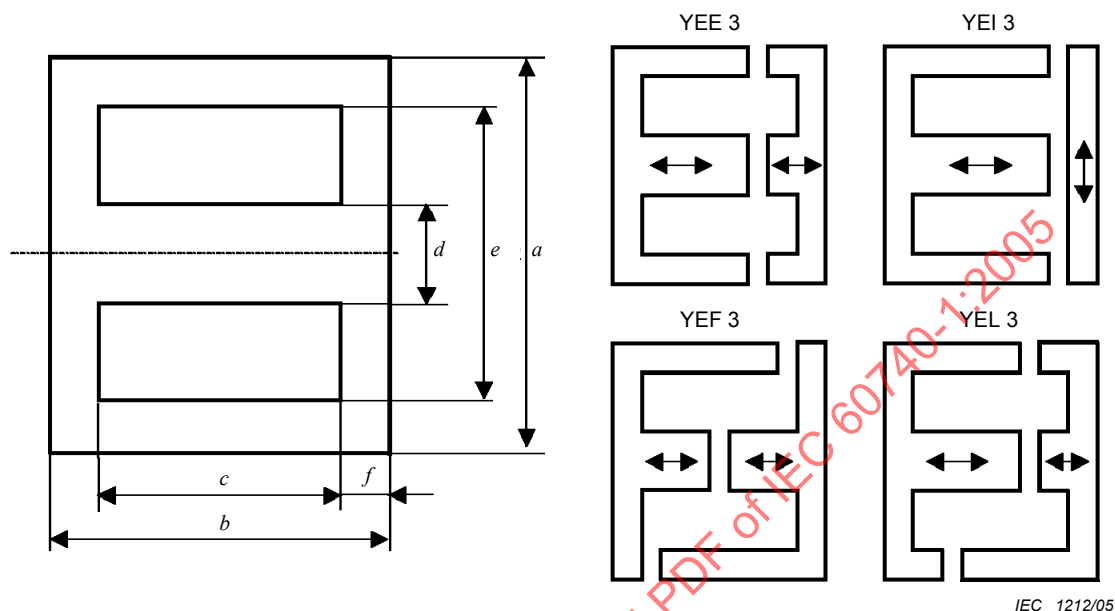


Figure 12 – Tôles découpées de type YEx 3, dimensions

Tableau 21 – Tôles découpées de type YEx 3, dimensions et tolérances

Désignation	Lettre de référence et code de tolérance (voir Tableau 9)					
	a	b	c	d	e	f
	$\pm IT 12$	$\pm IT 12$	$+IT 12$ 0	0 $-IT 12$	$+IT 12$ 0	
YEx 3-10	40	35	25	10	30	5
YEx 3-12	48	42	30	12	36	6
YEx 3-16	64	56	40	16	48	8
YEx 3-20	80	70	50	20	60	10
YEx 3-25	100	87,5	62,5	25	75	12,5
YEx 3-32	128	112	80	32	96	16
YEx 3-40	160	140	100	40	120	20
Facteur de relation	$4 \cdot d$	$3,5 \cdot d$	$2,5 \cdot d$	$1 \cdot d$	$3 \cdot d$	$0,5 \cdot d$

Tableau 22 – Tôles découpées de type YEx 3, paramètres efficaces

Désignation	Paramètres efficaces pour $h_p = d$ et $\eta = 0,95$			
	Section du noyau A_{Fe} mm ²	Longueur de circuit magnétique l_{Fe} mm	Volume du noyau V_{Fe} cm ³	Constante du noyau C_1 cm ⁻¹
YEx 3-10	95	90	8,55	9,47
YEx 3-12	136,8	108	14,8	7,89
YEx 3-16	243,2	144	35,0	5,92
YEx 3-20	380	180	68,4	4,74
YEx 3-25	594	225	134	3,79
YEx 3-32	973	288	280	2,96
YEx 3-40	1 520	360	547	2,37

Longueur de circuit magnétique $l_{Fe} = b + c + (a + e - d) / 2 = 9 \cdot d$ (41)

13.9 Tôles découpées de type YEx 4, YEE 4 et YEF 4

YEx 4 représente YEE 4 ou YEF 4.

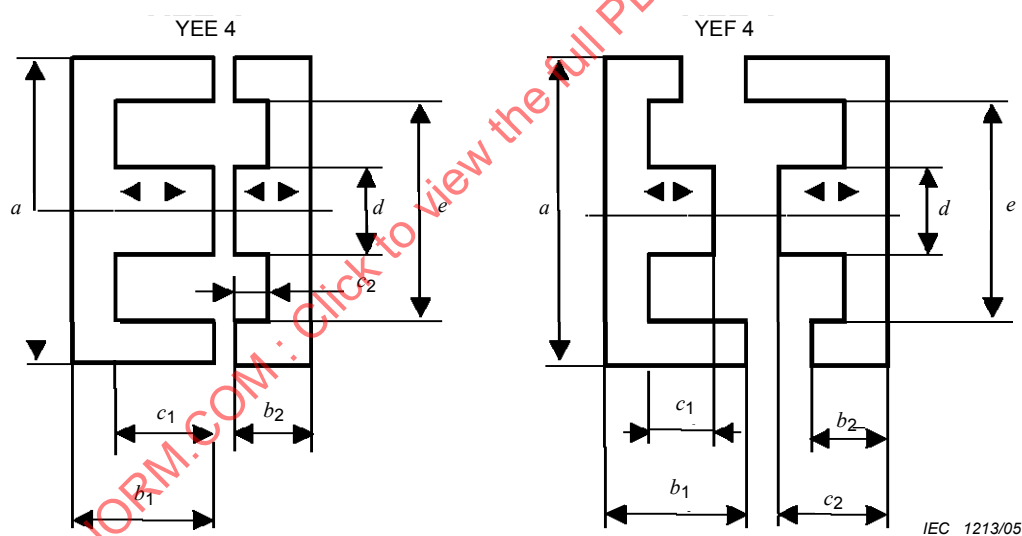


Figure 13 – Tôles découpées de type YEx 4, dimensions

Tableau 23 – Tôles découpées de type YEE 4, dimensions et tolérances

Désignation	Lettre de référence et code de tolérance (voir Tableau 9)						
	<i>a</i>	<i>b</i> ₁	<i>b</i> ₂	<i>c</i> ₁	<i>c</i> ₂	<i>d</i>	<i>e</i>
	+IT 12 0	+IT 12 0	+IT 12 0	+IT 12 0	+IT 12 0	0 -IT 11	+IT 10 0
YEE 4-2	8,4	4	2	2,8	0,8	2,4	6
YEE 4-3	10,5	5	2,6	3,5	1,1	3	7,6
YEE 4-4	13,4	6,4	3,2	4,5	1,3	3,8	9,6
YEE 4-5	16,8	8	4	5,6	1,6	4,8	12
YEE 4-6	21	10	5	7	2	6	15
YEE 4-8	26,6	12,7	6,3	8,9	2,5	7,6	19
YEE 4-10	33,6	16	8	11,2	3,2	9,6	24
YEE 4-12	42	20	10	14	4	12	30
Facteur de relation	3,5 · <i>d</i>	1,67 · <i>d</i>	0,83 · <i>d</i>	1,17 · <i>d</i>	0,33 · <i>d</i>	1 · <i>d</i>	2,5 · <i>d</i>

Tableau 24 – Tôles découpées de type YEF 4, dimensions et tolérances

Désignation	Lettre de référence et code de tolérance (voir Tableau 9)						
	<i>a</i>	<i>b</i> ₁	<i>b</i> ₂	<i>c</i> ₁	<i>c</i> ₂	<i>d</i>	<i>e</i>
	+IT 12 0	0 -IT 12	0 -IT 12	+IT 12 0	+IT 12 0	0 -IT 11	+IT 10 0
YEF 4-2	8,4	4	2	1,8	3	2,4	6
YEF 4-3	10,5	5	2,6	2,3	3,8	3	7,6
YEF 4-4	13,4	6,4	3,2	2,9	4,8	3,8	9,6
YEF 4-5	16,8	8	4	3,6	6	4,8	12
YEF 4-6	21	10	5	4,5	7,5	6	15
YEF 4-8	26,6	12,7	6,3	5,7	9,5	7,6	19
YEF 4-10	33,6	16	8	7,2	12	9,6	24
YEF 4-12	42	20	10	9	15	12	30
Facteur de relation	3,5 · <i>d</i>	1,67 · <i>d</i>	0,83 · <i>d</i>	0,75 · <i>d</i>	1,25 · <i>d</i>	1 · <i>d</i>	2,5 · <i>d</i>

Tableau 25 – Tôles découpées de type YEx 4, paramètres efficaces

Désignation	Paramètres efficaces pour $h_p = d$ et $\eta = 0,95$			
	Section du noyau A_{Fe} mm ²	Longueur de circuit magnétique l_{Fe} mm	Volume du noyau V_{Fe} cm ³	Constante du noyau C_1 cm ⁻¹
YEx 4-2	5,47	15,2	0,0832	27,8
YEx 4-3	8,55	19,75	0,169	23,1
YEx 4-4	13,72	25	0,343	18,2
YEx 4-5	21,89	31,2	0,683	14,3
YEx 4-6	34,2	39	1,33	11,4
YEx 4-8	54,87	49,4	2,71	9,0
YEx 4-10	87,55	62,4	5,46	7,13
YEx 4-12	136,8	78	10,7	5,70

Longueur de circuit magnétique pour le type YEE:

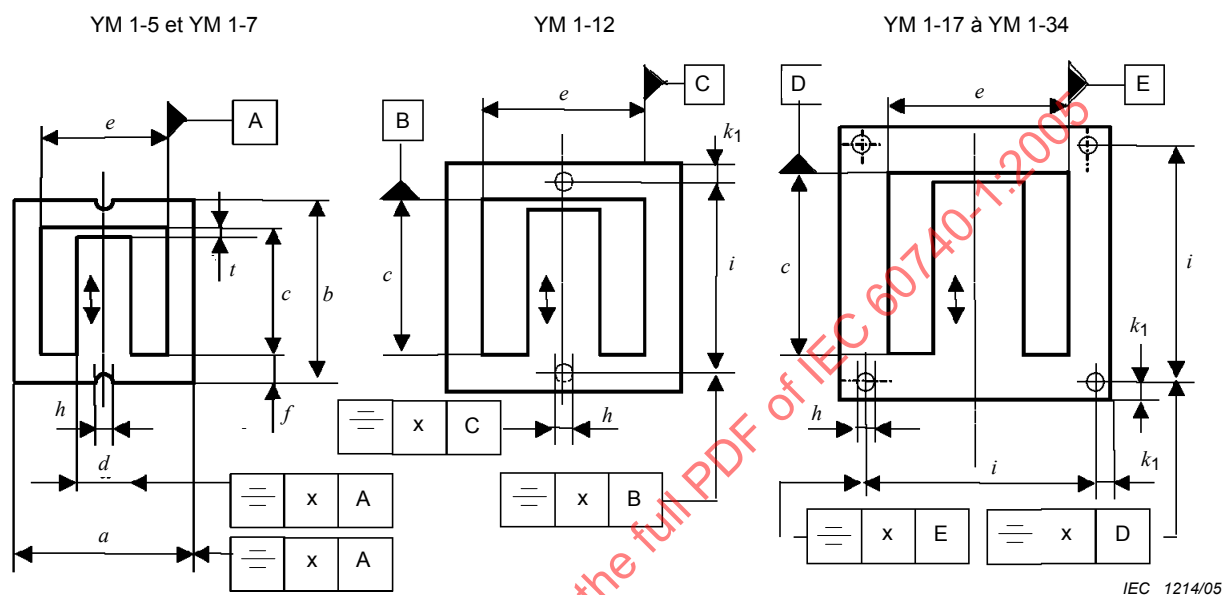
$$l_{Fe} = b_1 + b_2 + c_1 + c_2 + (a + e - d) / 2 = 6,5 \cdot d \quad (42)$$

Longueur de circuit magnétique pour le type YEF:

$$l_{Fe} = 2 \cdot c_1 + 2 \cdot c_2 + (a + e - d) / 2 = 6,5 \cdot d \quad (43)$$

13.10 Tôles découpées de type YM 1

NOTE Pour les tôles découpées de type YM 1, les carcasses de la CEI 61797-1, Type YM 1, peuvent être utilisées.



IEC 1214/05

Pour d'autres dimensions, voir YM 1-5

Figure 14 – Tôles découpées de type YM 1, dimensions

Tableau 26 – Tôles découpées de type YM 1, dimensions et tolérances

Désignation	Lettre de référence et code de tolérance (voir Tableau 9)										
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>h</i>	<i>i</i>	<i>k</i> ₁	<i>t</i> ^{a)}	<i>x</i>
	IT 12 js	IT 12 js	IT 12 JS	IT 12 js	IT 12 JS		JS 14	IT 12 JS		± IT 11	
YM 1-5	20	20	13	5	13	3,5	2,8				0,1
YM 1-7	30	30	20	7	20	5	3,0				0,1
YM 1-12	42	42	30	12	30	6	3,5	36	3	0,5	0,1
YM 1-17	55	55	38	17	38	8,5	3,5	47	4	0,5	0,2
YM 1-20	65	65	45	20	45	10	4,5	56	4,5	0,5	0,2
YM 1-23	74	74	51	23	51	11,5	4,5	64	5	0,5	0,2
YM 1-29	85	85	56	29	56	14,5	4,5	75	5	0,5	0,2
YM 1-34	102	102	68	34	68	17	5,5	91	5,5	0,5	0,2

a) pour *t* = 0 la tolérance est + 0,2 mm