

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE

**Calculation of the effective parameters of magnetic piece parts**

**Calcul des paramètres effectifs des pièces magnétiques**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60205:2016



## THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2016 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 l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office  
3, rue de Varembe  
CH-1211 Geneva 20  
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11  
[info@iec.ch](mailto:info@iec.ch)  
[www.iec.ch](http://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 corrigendum or an amendment might have been published.

#### IEC publications search - [webstore.iec.ch/advsearchform](http://webstore.iec.ch/advsearchform)

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

#### IEC Just Published - [webstore.iec.ch/justpublished](http://webstore.iec.ch/justpublished)

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and once a month by email.

#### IEC Customer Service Centre - [webstore.iec.ch/csc](http://webstore.iec.ch/csc)

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: [sales@iec.ch](mailto:sales@iec.ch).

#### IEC online collection - [oc.iec.ch](http://oc.iec.ch)

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

#### Electropedia - [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 18 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

### A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) 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 IEC

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

#### Recherche de publications IEC -

[webstore.iec.ch/advsearchform](http://webstore.iec.ch/advsearchform)

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études, ...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

#### IEC Just Published - [webstore.iec.ch/justpublished](http://webstore.iec.ch/justpublished)

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et une fois par mois par email.

#### Service Clients - [webstore.iec.ch/csc](http://webstore.iec.ch/csc)

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: [sales@iec.ch](mailto:sales@iec.ch).

#### IEC online collection - [oc.iec.ch](http://oc.iec.ch)

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

#### Electropedia - [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 000 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE

---

**Calculation of the effective parameters of magnetic piece parts**

**Calcul des paramètres effectifs des pièces magnétiques**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

---

ICS 29.100.10

ISBN 978-2-8322-9263-1

|                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.</b></p> <p><b>Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.</b></p> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## CONTENTS

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FOREWORD .....                                                                                               | 4  |
| INTRODUCTION .....                                                                                           | 6  |
| 1 Scope .....                                                                                                | 7  |
| 2 Normative references .....                                                                                 | 7  |
| 3 Terms and definitions .....                                                                                | 7  |
| 4 Basic rules applicable to this standard .....                                                              | 7  |
| 5 Formulae for the various types of cores .....                                                              | 8  |
| 5.1 Ring cores .....                                                                                         | 8  |
| 5.1.1 Ring cores in general .....                                                                            | 8  |
| 5.1.2 For ring cores of rectangular cross-section with sharp corners .....                                   | 9  |
| 5.1.3 For ring cores of rectangular cross-section with an appreciable average<br>rounding radius $r_0$ ..... | 9  |
| 5.1.4 For ring cores of rectangular cross-section with appreciable chamfer $c_0$ .....                       | 9  |
| 5.1.5 For ring cores of trapezoidal cross-section with sharp corners .....                                   | 9  |
| 5.1.6 For ring cores of trapezoidal cross-section with an appreciable average<br>rounding radius $r_0$ ..... | 9  |
| 5.1.7 For ring cores of cross-section with circular arc frontal sides .....                                  | 9  |
| 5.2 Pair of U-cores of rectangular section .....                                                             | 10 |
| 5.3 Pair of U-cores of rounded section .....                                                                 | 10 |
| 5.4 Pair of E-cores of rectangular section .....                                                             | 11 |
| 5.5 Pair of ETD/EER-cores .....                                                                              | 12 |
| 5.6 Pair of pot-cores .....                                                                                  | 14 |
| 5.7 Pair of RM-cores .....                                                                                   | 16 |
| 5.8 Pair of EP-cores .....                                                                                   | 20 |
| 5.9 Pair of PM-cores .....                                                                                   | 21 |
| 5.10 Pair of EL-cores .....                                                                                  | 23 |
| 5.11 Pair of ER-cores (low profile) .....                                                                    | 25 |
| 5.12 Pair of PQ-cores .....                                                                                  | 28 |
| 5.13 Pair of EFD-cores .....                                                                                 | 31 |
| 5.14 Pair of E planar-cores .....                                                                            | 33 |
| 5.15 Pair of EC-cores .....                                                                                  | 34 |
| Bibliography .....                                                                                           | 37 |
| Figure 1 – Ring cores .....                                                                                  | 8  |
| Figure 2 – Pair of U-cores of the rectangular section .....                                                  | 10 |
| Figure 3 – Pair of U-cores of rounded section .....                                                          | 11 |
| Figure 4 – Pair of E-cores of rectangular section .....                                                      | 12 |
| Figure 5 – Pair of ETD/EER-cores .....                                                                       | 13 |
| Figure 6 – Pair of pot-cores .....                                                                           | 14 |
| Figure 7 – Pair of RM-cores .....                                                                            | 18 |
| Figure 8 – Pair of EP-cores .....                                                                            | 20 |
| Figure 9 – Pair of PM-cores .....                                                                            | 22 |
| Figure 10 – Pair of EL-cores .....                                                                           | 23 |

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| Figure 11 – PLT(plate)-cores .....               | 24 |
| Figure 12 – Pair of ER-cores (low profile) ..... | 26 |
| Figure 13 – PLT(plate)-cores .....               | 26 |
| Figure 14 – Pair of PQ-cores .....               | 28 |
| Figure 15 – PQ-cores.....                        | 29 |
| Figure 16 – PLT(plate)-cores .....               | 29 |
| Figure 17 – Pair of EFD-cores.....               | 31 |
| Figure 18 – Pair of E planar-cores .....         | 33 |
| Figure 19 – PLT(plate)-cores .....               | 33 |
| Figure 20 – Pair of EC-cores.....                | 35 |

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60205:2016

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**CALCULATION OF THE EFFECTIVE PARAMETERS  
OF MAGNETIC PIECE PARTS**

## 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 itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 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 60205 has been prepared by IEC technical committee 51: Magnetic components, ferrite and and magnetic powder materials.

This fourth edition cancels and replaces the third edition published in 2006 and Amendment 1:2009. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- a) addition, in 5.1, of the drawing of a core of rectangular cross-section with chamfer;
- b) addition, in 5.1.3, of the equation of a core of rectangular cross-section with chamfer;
- c) equations in 5.1.4, 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.11, 5.12, 5.14 are amended or replaced;
- d) drawings RM6-S and RM6-R in 5.7 are amended;
- e) addition of EC-cores, see 5.15.

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

| FDIS         | Report on voting |
|--------------|------------------|
| 51/1149/FDIS | 51/1156/RVD      |

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

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

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

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

The contents of the corrigendum of July 2018 have been included in this copy.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60205:2016

## INTRODUCTION

The purpose of this revision is to provide formulae by which everybody can reach the same effective parameter values. Firstly, it is necessary to have a sufficient number of significant figures when figures are rounded off in the process of calculation. Additionally, some of the calculation formulae have been changed to get closer to the actual shape.

In this revision, the basic idea of calculation has not been changed. Recently, analysis of the magnetic field in the core has been considerably improved, so that, based on these ideas, development of new approaches and formulae can be expected.

Furthermore, the new “EC-cores” have been added.

The parameters in the existing IEC standards will be revised with the outcome from the formulae of this document.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60205:2016

## CALCULATION OF THE EFFECTIVE PARAMETERS OF MAGNETIC PIECE PARTS

### 1 Scope

This document specifies uniform rules for the calculation of the effective parameters of closed circuits of ferromagnetic material.

### 2 Normative references

There are no normative references in this document.

### 3 Terms and definitions

No terms and definitions are listed in this document.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

### 4 Basic rules applicable to this standard

**4.1** All results shall be expressed in units based on millimetres, shall be accurate to three significant figures, but to derive  $l_e$ ,  $\chi_e$  and  $V_e$  the values of  $C_1$  and  $C_2$  shall be calculated to five significant figures. All angles are in radians.

NOTE The purpose of specifying this degree of accuracy is only to ensure that parameters calculated at different establishments are identical and it is not intended to imply that the parameters are capable of being determined to this accuracy.

**4.2**  $A_{\min}$  is the nominal value of the smallest cross-section.  $A_g$  is the geometrical cross-section of a ring core with rectangular shape. All the dimensions used to calculate  $A_{\min}$  shall be the mean values between the tolerance limits quoted on the appropriate piece part drawing. All results shall be expressed in units based on millimetres, and shall be accurate to three significant figures.

The minimum physical cross-section area  $A_{\min}$  is given as:  $A_{\min} = \min(A_i)$

NOTE  $A_g$  to be used for the measurement of the saturation flux density  $B_{\max}$  on ring cores with rectangular cross-section.

**4.3** Calculations are only applicable to the component parts of a closed magnetic circuit.

**4.4** All dimensions used for the purpose of calculations shall be the mean value within the tolerance limits quoted on the appropriate piece part drawing.

**4.5** All irregularities in the outline of the core, such as small cut-outs, notches, chamfers, etc. shall be ignored unless otherwise described.

**4.6** When the calculation involves the sharp corner of a piece part, then the mean length of flux path for that corner shall be taken as the mean circular path joining the centres of area of the two adjacent uniform sections, and the cross-sectional area associated with that length shall be taken as the average area of the two adjacent uniform sections.

Calculation of effective parameters  $l_e$ ,  $A_e$  and  $V_e$ .

The effective parameters can be defined as

$$l_e = C_1^2 / C_2 \quad A_e = C_1 / C_2 \quad V_e = l_e A_e = C_1^3 / C_2^2$$

where

$l_e$  is the effective magnetic length of the core (mm);

$A_e$  is the effective cross-sectional area (mm<sup>2</sup>);

$V_e$  is the effective volume (mm<sup>3</sup>);

$C_1$  is the core constant (mm<sup>-1</sup>);

$C_2$  is the core constant (mm<sup>-3</sup>).

## 5 Formulae for the various types of cores

### 5.1 Ring cores

#### 5.1.1 Ring cores in general

Drawings of ring cores are shown in Figure 1.

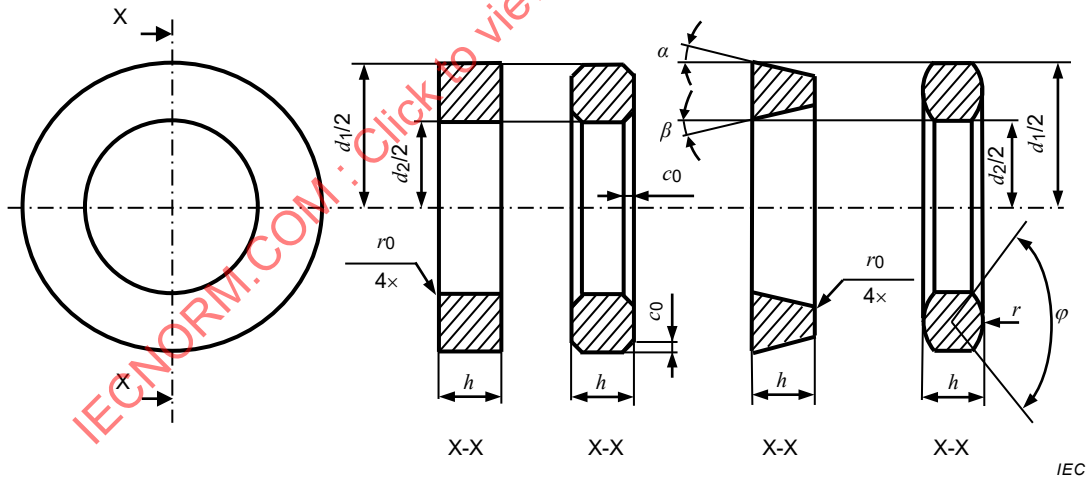


**Figure 1 – Ring cores**

$$C_1 = \frac{2\pi}{h_e \ln(d_1/d_2)}$$

$$C_2 = \frac{4\pi(1/d_2 - 1/d_1)}{h_e^2 \ln^3(d_1/d_2)}$$

**5.1.2 For ring cores of rectangular cross-section with sharp corners**

$$h_e = h$$

The geometrical cross-section of a ring core with rectangular shape  $A_g$  is given as:

$$A_g = h \frac{d_2 - d_1}{2}$$

**5.1.3 For ring cores of rectangular cross-section with an appreciable average rounding radius  $r_0$** 

$$h_e = h(1 - k_1) \quad k_1 = \frac{1,7168 r_0^2}{h(d_1 - d_2)}$$

**5.1.4 For ring cores of rectangular cross-section with appreciable chamfer  $c_0$** 

$$h_e = h(1 - k_3) \quad k_3 = \frac{4c_0^2}{h(d_1 - d_2)}$$

The geometrical cross-section of a ring core with appreciable chamfer shape  $A_g$  is given as:

$$A_g = h \frac{d_2 - d_1}{2} - 2c_0^2$$

**5.1.5 For ring cores of trapezoidal cross-section with sharp corners**

$$h_e = h(1 - k_2) \quad k_2 = \frac{h(\tan \alpha + \tan \beta)}{d_1 - d_2}$$

**5.1.6 For ring cores of trapezoidal cross-section with an appreciable average rounding radius  $r_0$** 

$$h_e = h(1 - k_1 - k_2)$$

**5.1.7 For ring cores of cross-section with circular arc frontal sides**

$$h_e = h - \frac{d_1 - d_2}{4 \sin^2(\varphi/2)} \left( 2 \sin \frac{\varphi}{2} - \frac{\sin \varphi}{2} - \frac{\varphi}{2} \right)$$

$$\varphi = 2 \arcsin \frac{d_1 - d_2}{4r}$$

When the winding is uniformly distributed over a ring core, it may be expected that, at all points inside the ring core, the flux lines will be parallel to its surface.

No leakage flux will therefore leave or enter the ring core. This justifies the use of a theoretically more correct derivation of the effective parameters, which does not make use of the assumption that the flux is uniformly distributed over the cross-section.

### 5.2 Pair of U-cores of rectangular section

Drawings of a pair of U-cores of the rectangular section are shown in Figure 2.

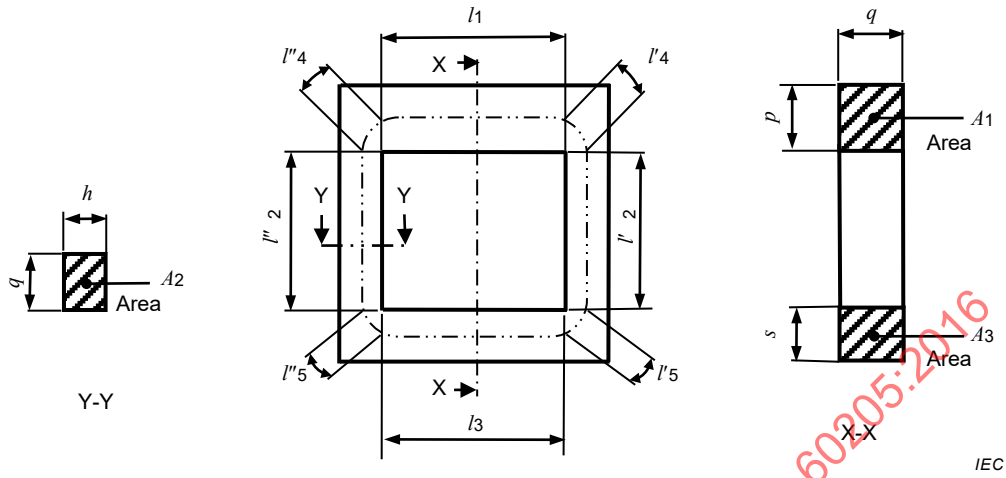


Figure 2 – Pair of U-cores of the rectangular section

Length of flux path associated with area  $A_2$ :

$$l_2 = l'_2 + l''_2$$

Mean length of flux paths at corners:

$$l_4 = l'_4 + l''_4 = \frac{\pi}{4}(p + h)$$

$$l_5 = l'_5 + l''_5 = \frac{\pi}{4}(s + h)$$

Mean areas associated with  $l_4$  and  $l_5$ :

$$A_4 = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

$$A_5 = \frac{A_2 + A_3}{2}$$

$$C_1 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i} \quad C_2 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i^2}$$

### 5.3 Pair of U-cores of rounded section

Drawings of a pair of U-cores of the rounded section are shown in Figure 3.

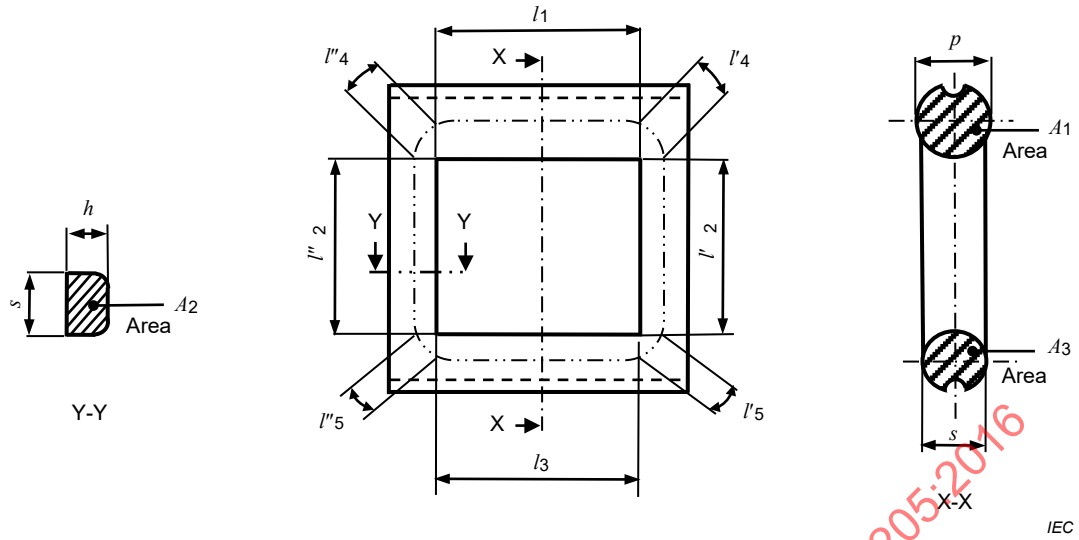


**Figure 3 – Pair of U-cores of rounded section**

In calculating  $A_2$  ignore any ridges introduced for the purpose of facilitating manufacture.

Length of flux path associated with area  $A_2$ :

$$l_2 = l'_2 + l''_2$$

Mean length of flux path at corners:

$$l_4 = l'_4 + l''_4 = \frac{\pi}{4}(p + h)$$

$$l_5 = l'_5 + l''_5 = \frac{\pi}{4}(s + h)$$

Mean areas associated with  $l_4$  and  $l_5$ :

$$A_4 = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

$$A_5 = \frac{A_2 + A_3}{2}$$

$$C_1 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i} \quad C_2 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i^2}$$

#### 5.4 Pair of E-cores of rectangular section

Drawings of a pair of E-cores of the rectangular section are shown in Figure 4.

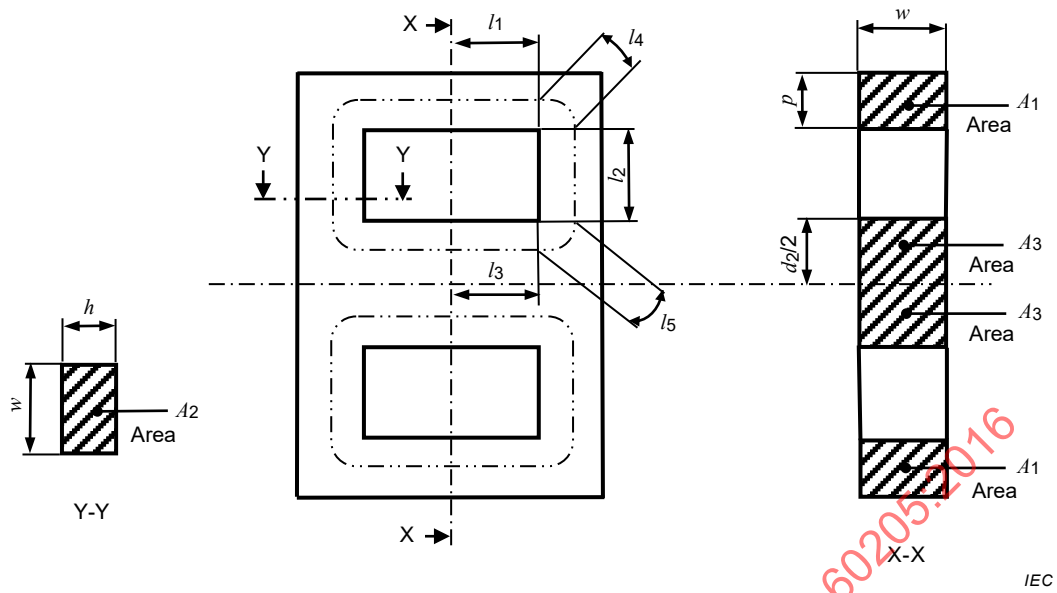


Figure 4 – Pair of E-cores of rectangular section

Area of half the centre limb:  $A_3$

Mean length of flux paths at corners:

$$l_4 = \frac{\pi}{8}(p + h)$$

$$l_5 = \frac{\pi}{8}\left(\frac{d_2}{2} + h\right)$$

Mean areas associated with  $l_4$  and  $l_5$ :

$$A_4 = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

$$A_5 = \frac{A_2 + A_3}{2}$$

$$C_1 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i} \quad C_2 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{2A_i^2}$$

## 5.5 Pair of ETD/EER-cores

Drawings of a pair of ETD/EER-cores are shown in Figure 5.

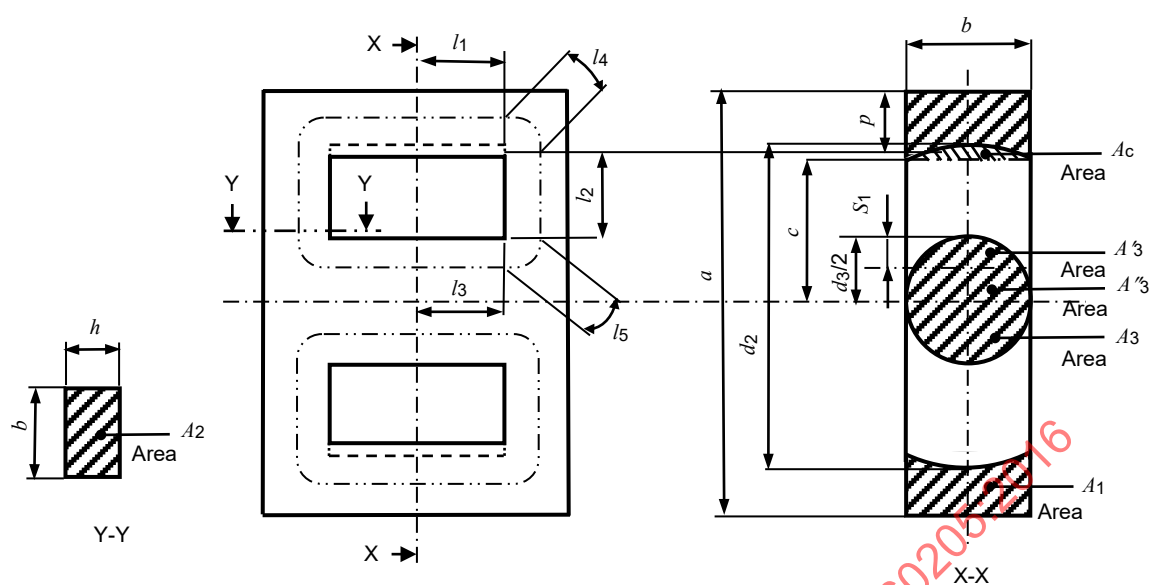


**Figure 5 – Pair of ETD/EER-cores.**

Mean length of flux path at back walls:

$$A_c = \frac{1}{4}d_2^2 \arcsin\left(\frac{b}{d_2}\right) + \frac{1}{4}b\sqrt{d_2^2 - b^2}$$

$$A_1 = \frac{1}{2}ab - \frac{1}{4}b\sqrt{d_2^2 - b^2} - \frac{1}{4}d_2^2 \arcsin\left(\frac{b}{d_2}\right)$$

Mean length of flux path at back walls:

$$l_2 = \frac{1}{4} \left( d_2 + \sqrt{d_2^2 - b^2} \right) - \frac{d_3}{2}$$

NOTE  $l_2$  is taken from the mean value of  $\frac{1}{2}(d_2 - d_3)$  and  $(c - d_3 / 2)$ .

Area of half the centre limb:

$$A_3 = A'_3 + A''_3$$

The condition to obtain  $A'_3 = A''_3$  is

$$S_1 = 0,2980d_3$$

Mean length of flux path at corners:

$$l_4 = \frac{\pi}{8}(p + h)$$

where  $p = \frac{a}{2} - l_2 - \frac{d_3}{2}$

$$l_5 = \frac{\pi}{8}(2S_1 + h)$$

Mean areas associated with  $l_4$  and  $l_5$ :

$$A_4 = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

$$A_5 = \frac{A_2 + A_3}{2}$$

$$C_1 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i} \quad C_2 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{2A_i^2}$$

## 5.6 Pair of pot-cores

Drawings of a pair of pot-cores are shown in Figure 6.

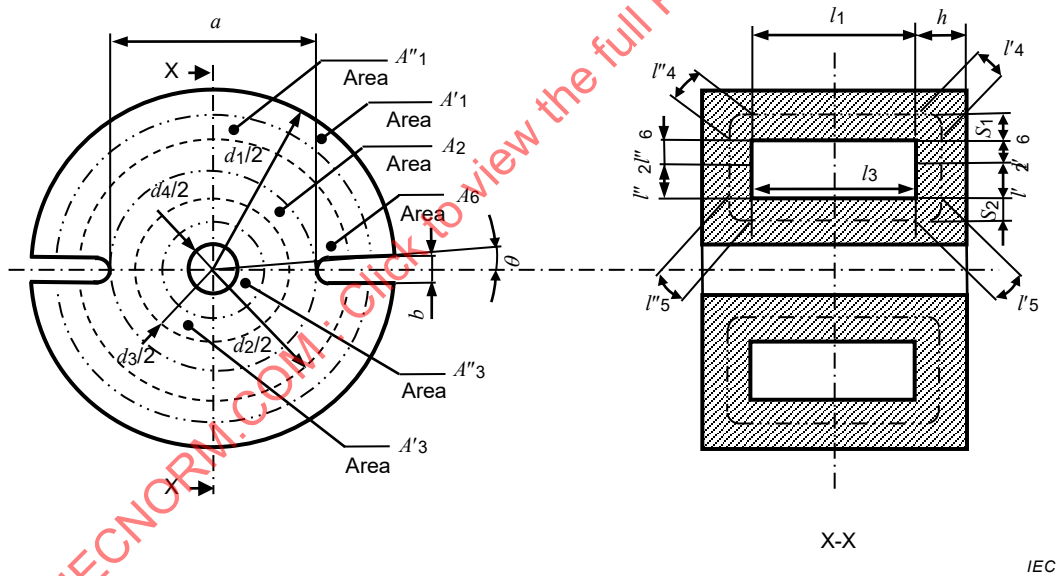


Figure 6 – Pair of pot-cores

Area of outer ring:

$$A_1 = A'_1 + A''_1$$

The condition to obtain  $A'_1 = A''_1$  is

$$S_1 = -\frac{d_2}{2} + \sqrt{\frac{1}{8}(d_1^2 + d_2^2)}$$

Area of centre limb:

$$A_3 = A'_3 + A''_3$$

The condition to obtain  $A'_3 = A''_3$  is

$$S_2 = \frac{d_3}{2} - \sqrt{\frac{1}{8}(d_3^2 + d_4^2)}$$

Area of ring:

$$A_1 = \frac{1}{4}(\pi - n\theta)(d_1^2 - d_2^2)$$

$$\theta = \arcsin \frac{2b}{d_1 + d_2}$$

where

$b$  is the slot width;

$n$  is the number of slots.

Core factors associated with  $l_2$ :

$$\frac{l_2}{A_2} = \frac{1}{\pi h} \ln \frac{a}{d_3}$$

$$\frac{l_2}{A_2^2} = \frac{a - d_3}{\pi^2 a d_3 h^2}$$

Area of centre limb:

$$A_3 = \frac{\pi}{4}(d_3^2 - d_4^2)$$

Mean length of flux paths at corners:

$$l_4 = l'_4 + l''_4 = \frac{\pi}{4}(2S_1 + h)$$

$$l_5 = l'_5 + l''_5 = \frac{\pi}{4}(2S_2 + h)$$

Areas associated with  $l_4$  and  $l_5$ :

$A_4$  for cores with back-wall slot:

$$A_4 = \frac{1}{8}(\pi - n\theta)(d_1^2 - d_2^2) + \frac{h}{2}(\pi d_2 - nb)$$

$A_4$  for cores without back-wall slot:

$$A_4 = \frac{1}{8}(\pi - n\theta)(d_1^2 - d_2^2) + \frac{\pi}{2}d_2h$$

$$A_5 = \frac{\pi}{8}(d_3^2 - d_4^2 + 4d_3h)$$

Core factors associated with  $l_6$ :

$$\frac{l_6}{A_6} = \frac{1}{(\pi - n\theta)h} \ln \frac{d_2}{a}$$

$$\frac{l_6}{A_6^2} = \frac{d_2 - a}{ad_2(\pi - n\theta)^2 h^2}$$

$$C_1 = \sum_{i=1}^6 \frac{l_i}{A_i} \quad C_2 = \sum_{i=1}^6 \frac{l_i}{A_i^2}$$

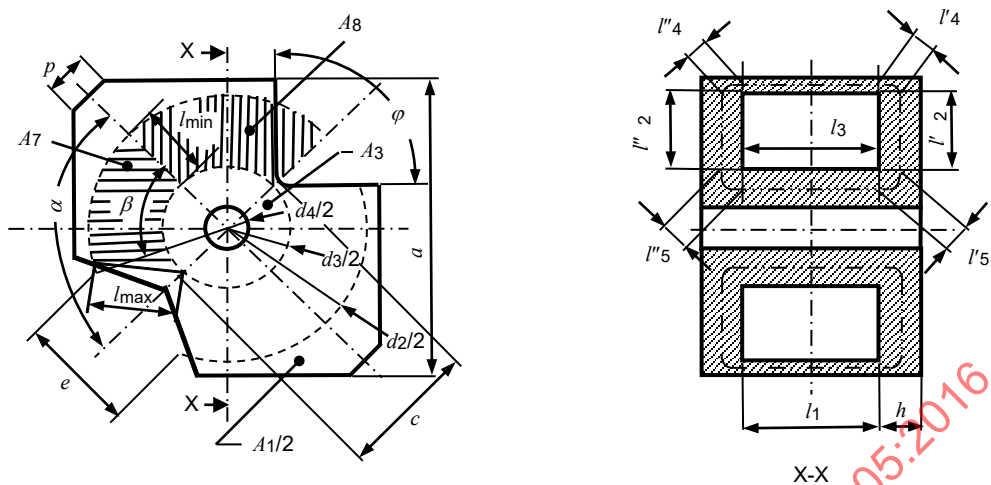
## 5.7 Pair of RM-cores

Drawings of a pair of RM-cores Type 1 through Type 4 are shown in Figure 7.

This calculation is also applicable to the core type without a hole.

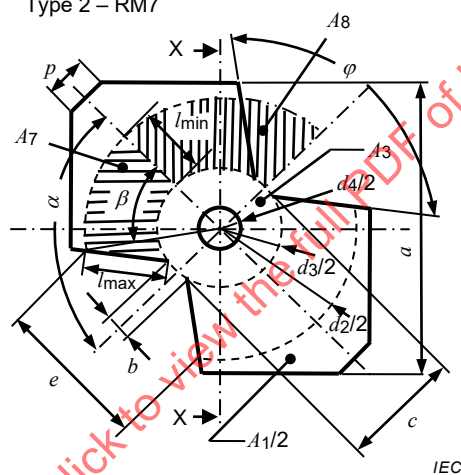
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60205:2016

Type 1 – RM6–S



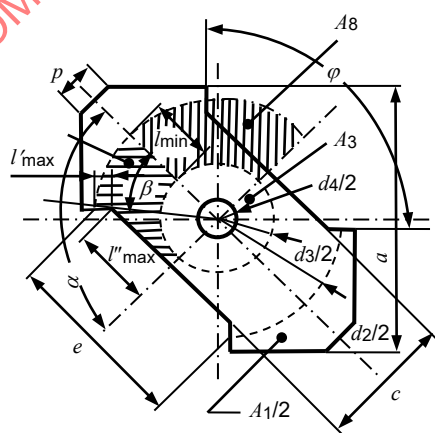
*IEC*

Type 2 – RM7



IEC

Type 3 – RM4, RM5, RM8, RM10, RM12, RM14



$$l_{\max} = l'_{\max} + l''_{\max}$$

IEC

Type 4 – RM6–R

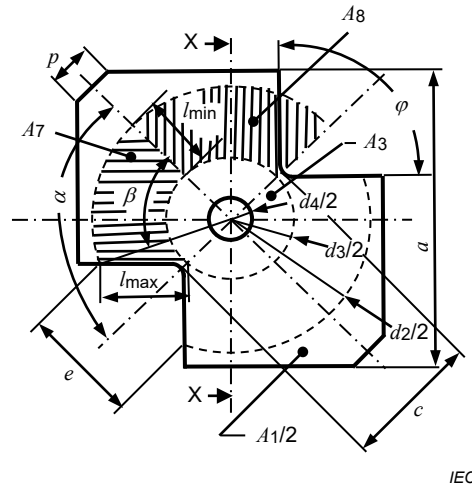


Figure 7 – Pair of RM-cores

Total area of the outer leg:

$$A_1 = \frac{1}{2} a^2 \left\{ 1 + \tan \left( \beta - \frac{\pi}{4} \right) \right\} - \frac{\beta}{2} d_2^2 - \frac{1}{2} p^2$$

where  $\beta = \alpha - \arcsin \frac{e}{d_2}$

Core factors associated with  $l_2$ :

$$\frac{l_2}{A_2} = \frac{\ln \frac{d_2}{d_3} f}{D \pi h}$$

where  $f = \frac{l_{\min} + l_{\max}}{2l_{\min}}$ ,  $D = \frac{A_7}{A_8}$

$$l_2 = l_2' + l_2''$$

$$\frac{l_2}{A_2^2} = \frac{(1/d_3 - 1/d_2)f}{(D\pi h)^2}$$

Type 1, Type 4:

$$l_{\max} = \sqrt{\frac{1}{4} (d_2^2 + d_3^2) - \frac{1}{2} d_2 d_3 \cos(\alpha - \beta)}$$

Type 2:

$$l_{\max} = \sqrt{\frac{1}{4}(d_2^2 + d_3^2) - \frac{1}{2}d_2d_3 \cos(\alpha - \beta)} - \frac{b}{2 \sin \frac{\varphi}{2}}$$

Type 3:

$$l_{\max} = \frac{1}{2 \tan \beta \cdot \sin \frac{\varphi}{2}} [e \tan \beta - c(1 - \sin \frac{\varphi}{2})]$$

Type 1:

$$A_7 = \frac{1}{4} \left\{ \frac{\beta}{2} d_2^2 + \frac{1}{2} e^2 \tan \beta - \frac{1}{2} e^2 \tan \left( \alpha - \frac{\varphi}{2} \right) - \frac{\pi}{4} d_3^2 \right\}$$

Type 4:

$$A_7 = \frac{1}{4} \left\{ \frac{\beta}{2} d_2^2 + \frac{1}{2} d_2 d_3 \sin(\alpha - \beta) + \frac{1}{2} (c - d_3)^2 \tan \frac{\varphi}{2} - \frac{\pi}{4} d_3^2 \right\}$$

Type 2:

$$A_7 = \frac{1}{4} \left\{ \frac{\beta}{2} d_2^2 - \frac{\pi}{4} d_3^2 + \frac{1}{2} (b^2 - e^2) \tan \left( \alpha - \frac{\varphi}{2} \right) + \frac{1}{2} e^2 \tan \beta \right\}$$

Type 3:

$$A_7 = \frac{1}{4} \left\{ \frac{\beta}{2} d_2^2 - \frac{\pi}{4} d_3^2 + \frac{1}{2} c^2 \tan(\alpha - \beta) \right\}$$

$$A_8 = \frac{\alpha}{8} (d_2^2 - d_3^2)$$

Area of centre pole:

$$A_3 = \frac{\pi}{4} (d_3^2 - d_4^2)$$

Mean length of flux paths at corners and mean areas associated with these:

$$l_4 = l'_4 + l''_4 = \frac{\pi}{4} \left( h + \frac{1}{2} a - \frac{1}{2} d_2 \right)$$

$$A_4 = \frac{1}{2} (A_1 + 2\beta d_2 h)$$

$$A_5 = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\pi}{4} (d_3^2 - d_4^2) + 2\alpha d_3 h \right\}$$

$$C_1 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i} \quad C_2 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i^2}$$

## 5.8 Pair of EP-cores

Figure 10.1 consists of two diagrams, (a) and (b), illustrating the geometrical properties of a rectangular section.

Diagram (a) shows a rectangular section with overall width  $b$  and height  $a$ . The centroidal axes  $X-X$  and  $Y-Y$  are shown. The distance from the  $Y-Y$  axis to the right edge is  $c$ . The distance from the  $X-X$  axis to the top edge is  $d_1/2$  and to the bottom edge is  $d_2/2$ . The area of the section is  $A_1$ . The area of the section excluding the hole is  $A_3$ . The area of the hole is  $A_2$ . The angle between the  $X-X$  axis and the line connecting the centroid of the hole to the centroid of the section is  $\alpha$ .

Diagram (b) shows a rectangular section with overall width  $b$  and height  $a$ , containing two rectangular holes. The dimensions of the holes are  $l_1$  and  $l_2$  for the top hole, and  $l_3$  and  $l_4$  for the bottom hole. The dimensions of the section excluding the holes are  $l'_1$  and  $l'_2$  for the top part, and  $l'_3$  and  $l'_4$  for the bottom part. The dimensions of the section including the holes are  $l''_1$  and  $l''_2$  for the top part, and  $l''_3$  and  $l''_4$  for the bottom part. The area of the section is  $A_1$ . The area of the section excluding the holes is  $A_3$ . The area of the holes is  $A_2$ .

### Figure 8 – Pair of EP-cores

As a pair:

$$\frac{l_1}{A_1} = \frac{h_2}{ab - \pi d_1^2 / 8 - d_1 c}$$

$$\frac{l_1}{A_1^2} = \frac{h_2}{(ab - \pi d_1^2 / 8 - d_1 c)^2}$$

$$\frac{l_2}{A_2} = \frac{2}{(\pi - \alpha)(h_1 - h_2)} \ln \frac{d_1}{d_2}$$

$$\frac{l_2}{A_2^2} = \frac{4(d_1 - d_2)}{(\pi - \alpha)^2 (h_1 - h_2)^2 d_1 d_2}$$

$$\frac{l_3}{A_3} = \frac{h_2}{\pi \left(\frac{d_2}{2}\right)^2} = \frac{4h_2}{\pi d_2^2}$$

$$\frac{l_3}{A_3^2} = \frac{h_2}{\pi^2 \left(\frac{d_2}{2}\right)^4} = \frac{16h_2}{\pi^2 d_2^4}$$

Areas associated with  $l_4$  and  $l_5$ :

$$l_4 = l'_4 + l''_4 = \frac{\pi}{2} \left( \gamma - \frac{d_1}{2} + \frac{h_1 - h_2}{4} \right)$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{(\pi - \alpha)d_1^2 + 2(ab - \pi d_1^2 / 8 - d_1 d_2 / 2)}{4(\pi - \alpha)}}$$

where  $\gamma$  is a hypothetical radius bisecting the cross-sectional area of the ring.

$$A_4 = \frac{1}{2} \left\{ ab - \frac{\pi}{8} d_1^2 - \frac{d_1 d_2}{2} + (\pi - \alpha) d_1 \left( \frac{h_1}{2} - \frac{h_2}{2} \right) \right\}$$

$$l_5 = l'_5 + l''_5 = \frac{\pi}{2} \left( 0,292\,89 \frac{d_2}{2} + \frac{h_1 - h_2}{4} \right)$$

$$A_5 = \frac{\pi}{2} \left\{ \frac{d_2^2}{4} + \frac{d_2}{2} (h_1 - h_2) \right\}$$

$$C_1 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i} \quad C_2 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i^2}$$

## 5.9 Pair of PM-cores

Drawings of a pair of PM-cores are shown in Figure 9.


$$A_1 = \frac{\beta}{2} (d_1^2 - d_2^2) - 2bt$$

Core factors associated with  $l_2$ :

$$\frac{l_2}{A_2} = \frac{\ln \frac{d_2}{d_3} g}{D\pi(h_1 - h_2)/2}$$

$$l_{\max} = \sqrt{\frac{1}{4}(d_2^2 + d_3^2) - \frac{1}{2}d_2d_3 \cos(\alpha - \beta)}$$

$$A_7 = \frac{\beta}{8} d_2^2 + \frac{1}{8} f^2 \tan \beta - \frac{1}{8} f^2 \tan \left( \alpha - \frac{\varphi}{2} \right) - \frac{\pi}{16} d_3^2$$

$$A_8 = \frac{\alpha}{8} (d_2^2 - d_3^2)$$

Area of centre limb:

$$A_3 = \frac{\pi}{4} (d_3^2 - d_4^2)$$

Mean length of flux paths at corners and mean areas associated with these:

$$l_4 = l'_4 + l''_4 = \frac{\pi}{8} (h_1 - h_2 + d_1 - d_2)$$

$$A_4 = \frac{1}{2} \{A_1 + \beta d_2 (h_1 - h_2)\}$$

$$l_5 = l'_5 + l''_5 = \frac{\pi}{4} \left\{ d_3 + \frac{h_1 - h_2}{2} - \sqrt{\frac{1}{2} (d_3^2 + d_4^2)} \right\}$$

$$A_5 = \frac{\pi}{8} (d_3^2 - d_4^2) + \alpha d_3 \frac{(h_1 - h_2)}{2}$$

$$C_1 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i} \quad C_2 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i^2}$$

### 5.10 Pair of EL-cores

Drawings of a pair of EL-cores and PLT (plate)-cores are shown in Figure 10 and Figure 11.

EL + PLT (plate)-cores use EL core formulae.

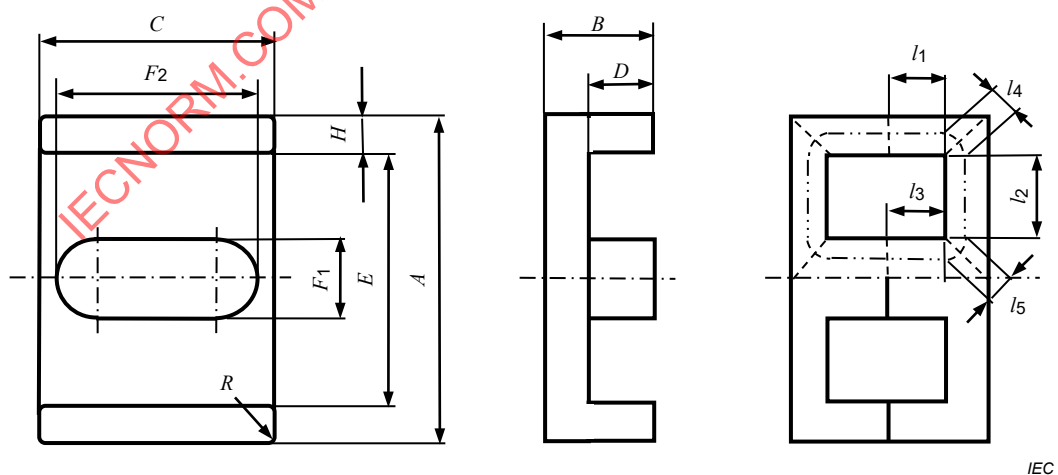


Figure 10 – Pair of EL-cores

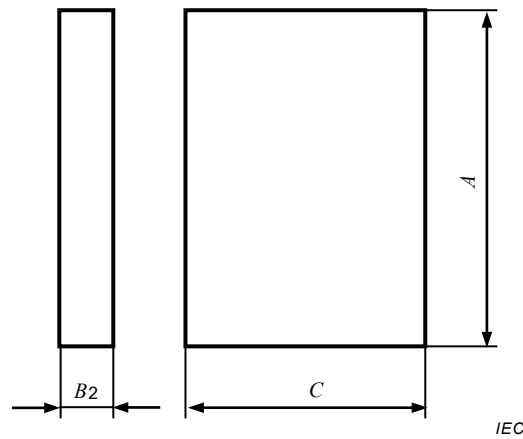


**Figure 11 – PLT(plate)-cores**

Area of outer leg:

$$A_1 = \frac{1}{2}(A - E)C - 4\left(R^2 - \frac{1}{4}\pi R^2\right)$$

Mean length of flux path at outer leg:

$$l_1 = D$$

Area of back wall:

$$A_2 = \frac{1}{2}\left(C + (F_2 - F_1) + \pi F_1/2\right)(B - D)$$

Mean length of flux at back wall:

$$l_2 = \left(\frac{E}{2} - \frac{F_1}{2}\right)$$

Area of centre limb:

$$A_3 = \frac{1}{2}\left\{\frac{1}{4}\pi F_1^2 + (F_2 - F_1)F_1\right\}$$

Mean length of flux path at centre limb:

$$l_3 = D$$

Area of outside corner:

$$A_4 = \frac{A_1 + A_{21}}{2}$$

where  $A_{21} = (B - D)C$

Mean length of flux path at outside corner:

$$l_4 = \frac{\pi}{8} \left( \left( \frac{A}{2} - \frac{E}{2} \right) + (B - D) \right)$$

Area of inside corner:

$$A_5 = \frac{A_{23} + A_3}{2}$$

where  $A_{23} = ((F_2 - F_1) + \pi F_1 / 2)(B - D)$

Mean length of flux path at inside corner:

$$l_5 = \frac{\pi}{8} \left( \frac{A_3}{F_2} + (B - D) \right)$$

$$C_1 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i} \quad C_2 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{2A_i^2}$$

$$l_e = C_1^2 / C_2 \quad A_e = C_1 / C_2 \quad F_e = C_1^3 / C_2^2$$

#### 5.11 Pair of ER-cores (low profile)

Drawings of a pair of ER-cores (low profile) and PLT(plate)-cores are shown in Figure 12 and Figure 13.

ER + PLT (plate)-cores use ER core formulae.

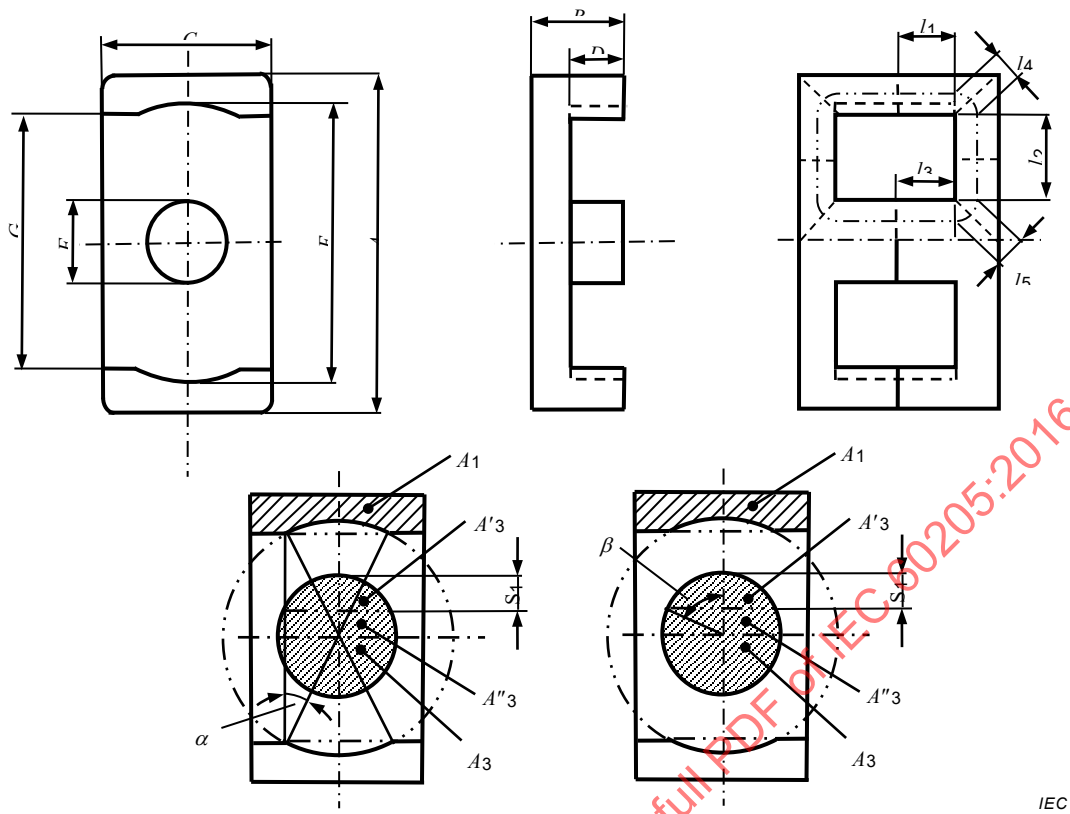


Figure 12 – Pair of ER-cores (low profile)

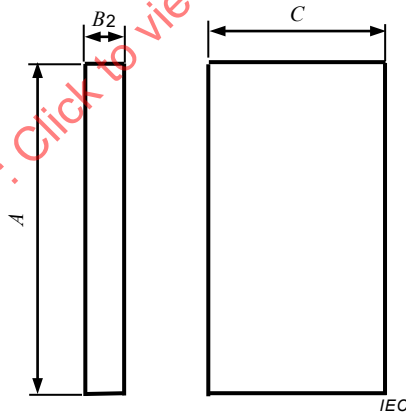


Figure 13 – PLT(plate)-cores

Area of outer leg:

$$A_1 = \frac{1}{2} C(A - G) - \left( \frac{\alpha E^2}{4} - \frac{EG}{4} \sin \alpha \right)$$

where

$$\alpha = \arccos (G/E)$$

Mean length of flux path at outer leg:

$$l_1 = D$$

Area of back wall:

$$A_2 = C(B - D)$$

Mean length of flux path at back wall:

$$l_2 = \frac{1}{4} \left( E + \sqrt{G^2 + C^2} - 2F \right)$$

Area of centre limb:

$$A_3 = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{4} \pi F^2 \right)$$

Mean length of flux path at centre limb:

$$l_3 = D$$

Area of outside corner:

$$A_4 = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

Mean length of flux path at outside corner:

$$l_4 = \frac{\pi}{8} (p + h)$$

where

$$h = B - D \quad p = \frac{A}{2} - \frac{E}{2}$$

Area of inside corner:

$$A_5 = \frac{A_2 + A_3}{2}$$

Mean length of flux path at inside corner:

$$l_5 = \frac{\pi}{8} (2S_1 + h)$$

The condition to obtain  $A'_3 = A''_3$  is

$$S_1 = \frac{1}{2} F (1 - \cos \beta) = 0,29801F$$

$$C_1 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i} \quad C_2 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{2A_i^2}$$

$$l_e = C_1^2 / C_2 \quad A_e = C_1 / C_2 \quad V_e = C_1^3 / C_2^2$$

### 5.12 Pair of PQ-cores

Drawings of a pair of PQ-cores and PLT(plate)-cores are shown in Figure 14, Figure 15 and Figure 16.

PQ + PLT (plate)-cores use PQ core formulae.

NOTE 1 This calculation ignores the effect of spring recesses.

NOTE 2 The equations below are consistent with those given in IEC 62317-13.

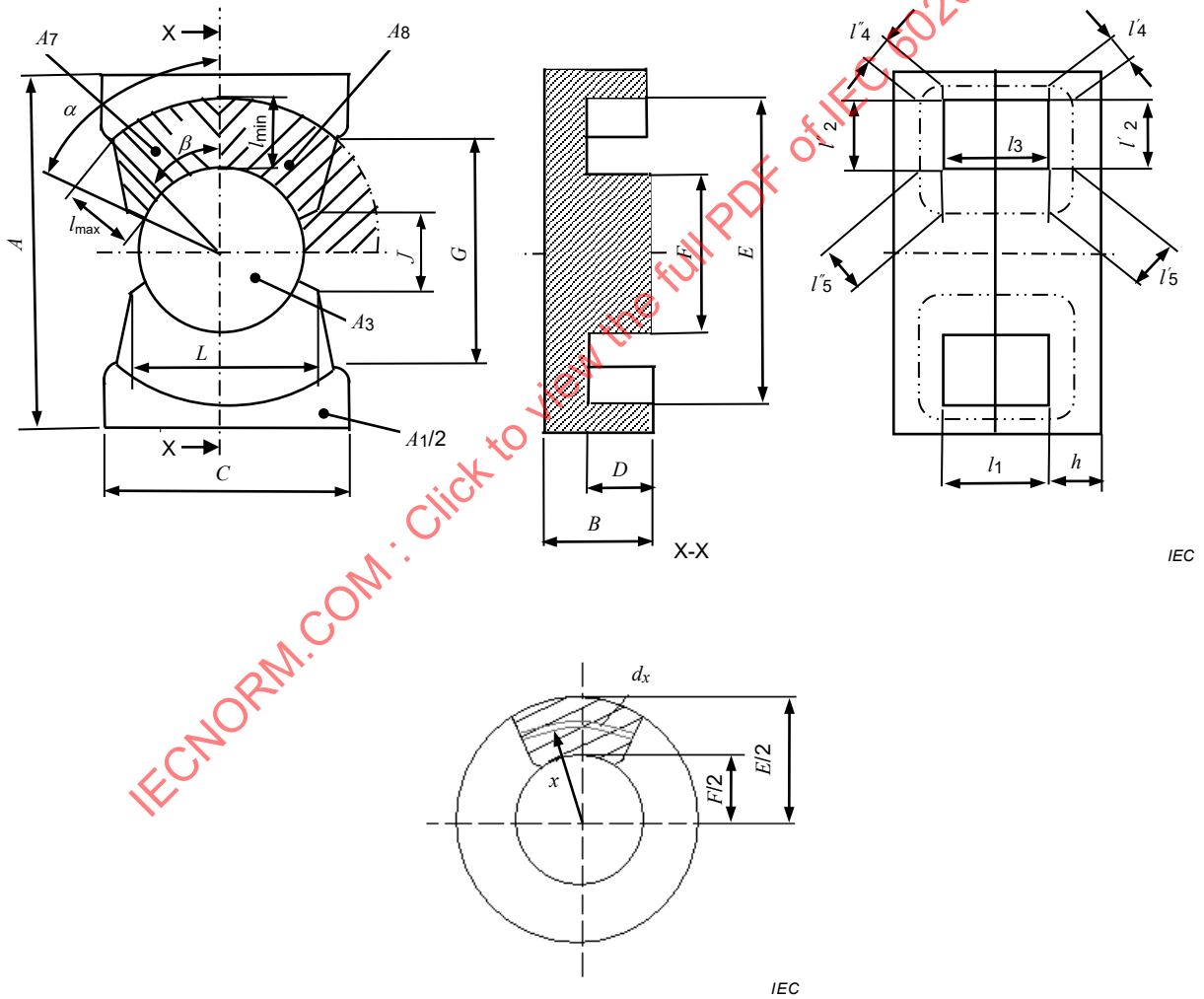


Figure 14 – Pair of PQ-cores

Area of outer leg:

$$A_1 = C(A - G) - \frac{\beta E^2}{2} + \frac{1}{2}GI$$

where

$$\beta = \arccos\left(\frac{G}{E}\right)$$

$$I = E \sin \beta$$

Mean length of flux path at outer leg:

$$l_1 = 2D$$

Core factors associated with  $l_2$ :

For  $l_2$ ,  $A_2$  the elemental radius  $dr$  shown in Figure 15 is the elemental length of the flux path in the integral below. The radius vector extends from  $F/2$  to  $E/2$  for the entire circle. The effective length  $l_{2i}$  for the section is multiplied by  $f$ . The area is the physical area multiplied by  $K$ .

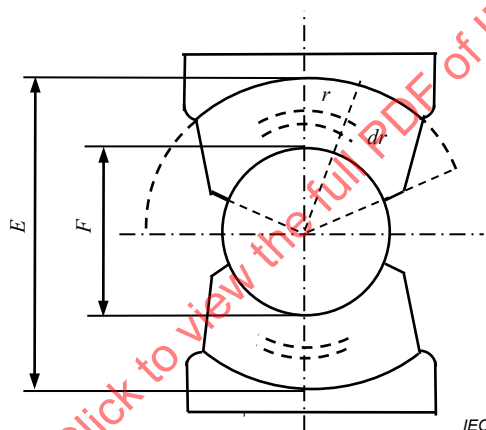


Figure 15 – PQ-cores

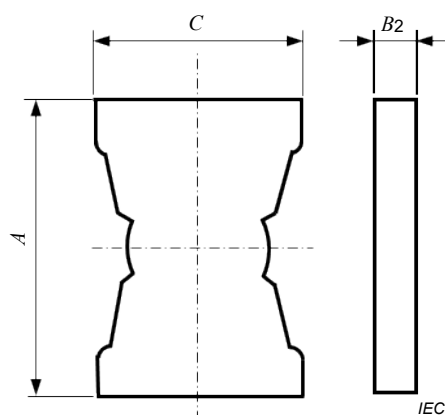


Figure 16 – PLT(plate)-cores

$$\frac{l_{2i}}{A_2} = \int_{\frac{F}{2}}^{\frac{E}{2}} \frac{f}{K 2\pi r (B - D)} dr = \frac{f}{2\pi K (B - D)} \ln\left(\frac{E}{F}\right)$$

$$\frac{l_2}{A_2^2} = \int \frac{\frac{E}{2}}{\frac{F}{2} \{2K [\frac{2\pi x}{2} (B-D)]\}^2} = \frac{2f}{[2K\pi(B-D)]^2} \int \frac{\frac{E}{2}}{\frac{F}{2} x^2} dx = f \frac{1/F - 1/E}{K^2 \pi^2 (B-D)^2}$$

where

$$K = \frac{A_7}{A_8} = \frac{A_7}{\frac{\pi}{16} (E^2 - F^2)}$$

$$A_7 = \frac{1}{8} (\beta E^2 - \alpha F^2 + GL - JI)$$

$$\alpha = \arctan\left(\frac{L}{J}\right)$$

$$f = \frac{l_{\min} + l_{\max}}{2l_{\min}}$$

$$l_{\max} = \frac{\sqrt{E^2 + F^2 - 2EF \cos(\alpha - \beta)}}{2}$$

Define the other two physical areas in the flux path at back wall.

$$A_9 = 2\alpha F(B-D)$$

$$A_{10} = 2\beta E(B-D)$$

The mathematical area  $A_2$  is given as  $A_{10} > A_2 > A_9$ .

Area of centre limb:

$$A_3 = \frac{1}{4} \pi F^2$$

Mean length of flux path at centre limb:

$$l_3 = 2D$$

Area of outside corner:

$$A_4 = \frac{1}{2} (A_1 + A_{10}) = \frac{1}{2} [A_1 + 2E(B-D)\beta]$$

Mean length of flux path at outside corner:

$$l_4 = l_4' + l_4'' = \frac{\pi}{4} \left( (B-D) + \frac{1}{2} A - \frac{1}{2} E \right)$$

Area of inside corner:

$$A_5 = \frac{1}{2}(A_3 + A_9) = \frac{\pi}{2} \left( \frac{F}{2} \right)^2 + F(B-D)\alpha$$

Mean length of flux path at inside corner:

$$l_5 = l'_5 + l''_5 = \frac{\pi}{4} \left( (B-D) + \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \right) F \right)$$

$$C_1 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i} \quad C_2 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i^2}$$

The minimum physical cross-section area  $A_{\min}$  is given as:

$$A_{\min} = \min (A_1, A_3, A_4, A_5, A_9)$$

$$l_e = \frac{C_1^2}{C_2} \quad A_e = \frac{C_1}{C_2} \quad V_e = \frac{C_1^3}{C_2^2}$$

### 5.13 Pair of EFD-cores

Drawings of a pair of EFD-cores are shown in Figure 17.

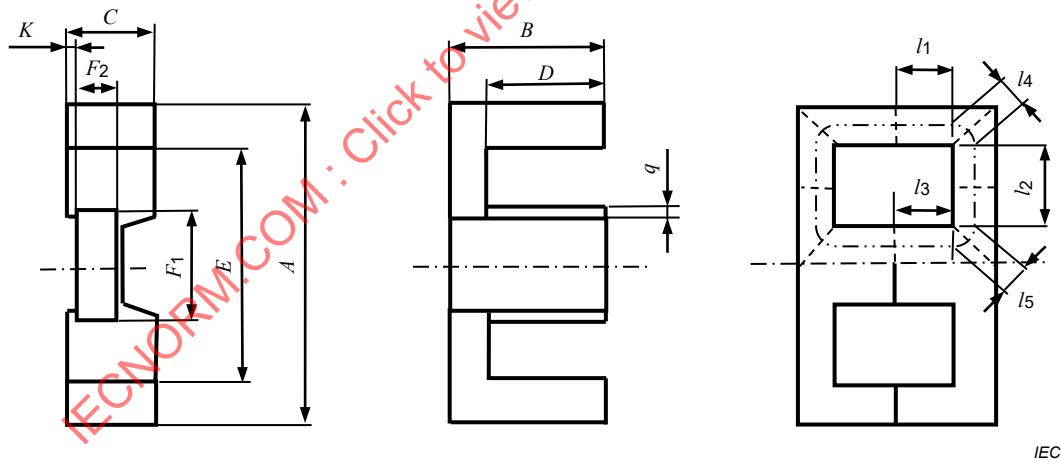


Figure 17 – Pair of EFD-cores

Area of outer leg:

$$A_1 = \frac{C(A-E)}{2}$$

Mean length of flux path at outer leg:

$$l_1 = D$$

Area of back wall:

$$A_2 = C(B - D)$$

Mean length of flux at back wall:

$$l_2 = \frac{E - F_1}{2}$$

Area of centre limb:

$$A_3 = \frac{F_1 F_2 - 2q^2}{2}$$

where  $q$ : chamfer

Mean length of flux path at centre limb:

$$l_3 = D$$

Area of outside corner:

$$A_4 = \frac{(A_1 + A_2)}{2}$$

Mean length of flux path at outside corner:

$$l_4 = \frac{\pi}{8} \left( \frac{A - E}{2} + (B - D) \right)$$

Area of inside corner:

$$A_5 = \frac{A_2 + A_3}{2}$$

Mean length of flux path at inside corner:

$$l_5 = \frac{\pi}{4} \left( \frac{F_1}{4} + \sqrt{\left( \frac{C - F_2 - 2K}{2} \right)^2 + \left( \frac{B - D}{2} \right)^2} \right)$$

$$C_1 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i} \quad C_2 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{2A_i^2}$$

$$l_e = \frac{C_1^2}{C_2} \quad A_e = \frac{C_1}{C_2} \quad V_e = \frac{C_1^3}{C_2^2}$$

### 5.14 Pair of E planar-cores

Drawings of a pair of E planar-cores and PLT(plate)-cores are shown in Figure 18 and Figure 19.

E planar + PLT (plate)-cores use E planar core formulae.

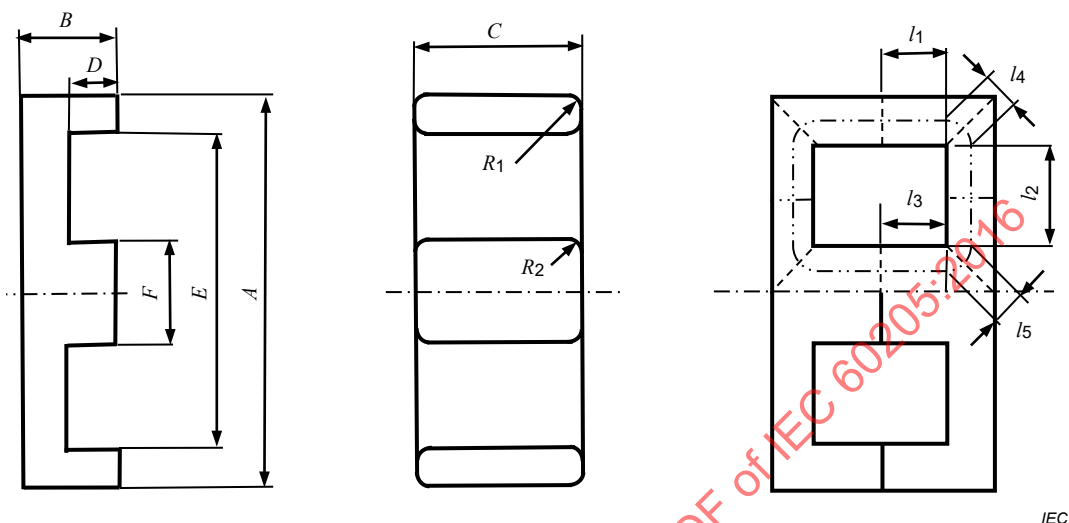


Figure 18 – Pair of E planar-cores

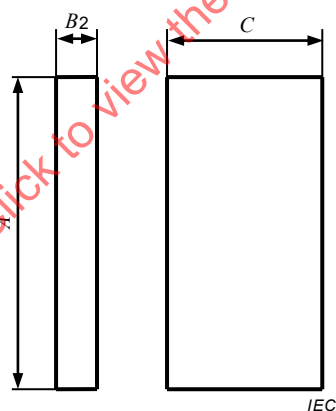


Figure 19 – PLT(plate)-cores

Area of outer leg:

$$A_1 = \frac{C(A-E)}{2} - 4 \left( R_1^2 - \frac{\pi}{4} R_1^2 \right)$$

Mean length of flux path at outer leg:

$$l_1 = D$$

Area of back wall:

$$A_2 = C(B-D)$$

Mean length of flux at back wall:

$$l_2 = \frac{E - F}{2}$$

Area of centre limb:

$$A_3 = \frac{FC}{2} - 2(R_2^2 - \frac{\pi}{4} R_2^2)$$

Mean length of flux path at centre limb:

$$l_3 = D$$

Area of outside corner:

$$A_4 = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

Mean length of flux path at outside corner:

$$l_4 = \frac{\pi}{8} \left( \frac{A - E}{2} + (B - D) \right)$$

Area of inside corner:

$$A_5 = \frac{(A_2 + A_3)}{2}$$

Mean length of flux path at inside corner:

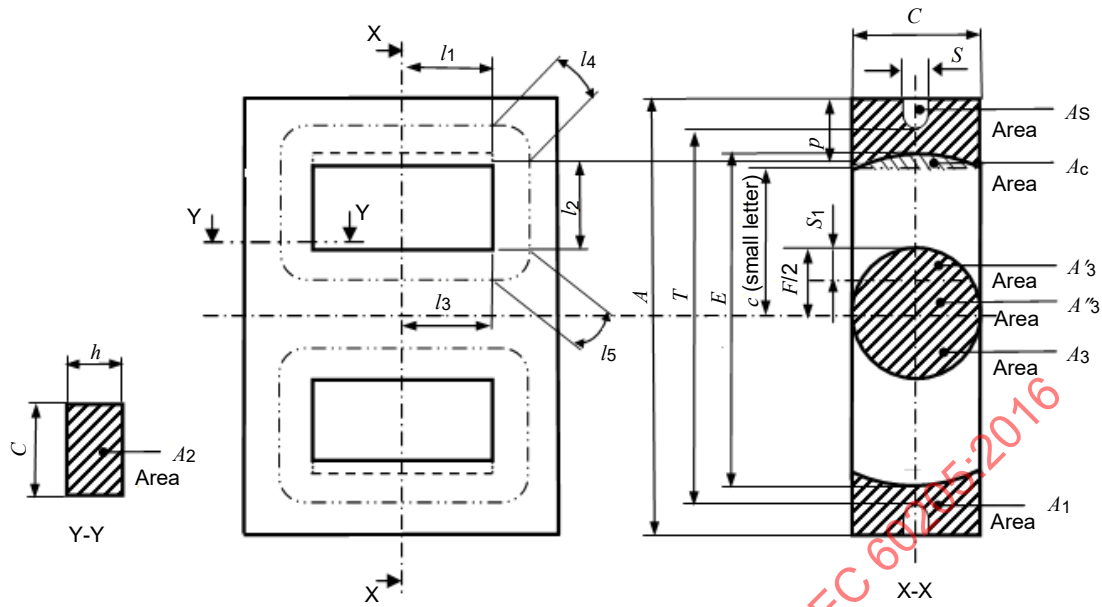
$$l_5 = \frac{\pi}{8} \left( \frac{F}{2} + (B - D) \right)$$

$$C_1 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i} \quad C_2 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{2A_i^2}$$

$$l_e = \frac{C_1^2}{C_2} \quad A_e = \frac{C_1}{C_2} \quad V_e = \frac{C_1^3}{C_2^2}$$

### 5.15 Pair of EC-cores

Drawings of a pair of EC-cores are shown in Figure 20.



IEC

Figure 20 – Pair of EC-cores

$A_1$  is equal to the rectangle  $C\left(\frac{1}{2}A - c\right)$  less the segment  $A_c$  and the segment  $A_s$ .

$$A_c = \frac{1}{4}E^2 \arcsin\left(\frac{C}{E}\right) - \frac{1}{4}C\sqrt{E^2 - C^2}$$

$$A_s = \frac{S(A - T - S)}{2} + \frac{\pi S^2}{8}$$

$$A_1 = \frac{1}{2}AC - \frac{1}{4}C\sqrt{E^2 - C^2} - \frac{1}{4}E^2 \arcsin\left(\frac{C}{E}\right) - \frac{S(A - T - S)}{2} - \frac{\pi S^2}{8}$$

Mean length of flux path at back walls:

$$l_2 = \frac{1}{4}\left(E + \sqrt{E^2 - C^2}\right) - \frac{F}{2}$$

NOTE  $l_2$  is taken from the mean value of  $\frac{1}{2}(E - F)$  and  $(c - F/2)$ .

Area of half the centre limb:

$$A_3 = A'_3 + A''_3$$

The condition to obtain  $A'_3 = A''_3$  is

$$S_1 = 0,2980 F$$

Mean length of flux path at corners:

$$l_4 = \frac{\pi}{8}(p + h)$$

where  $p = \frac{A}{2} - l_2 - \frac{F}{2}$

$$l_5 = \frac{\pi}{8}(2S_1 + h)$$

Mean areas associated with  $l_4$  and  $l_5$ :

$$A_4 = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

$$A_5 = \frac{A_2 + A_3}{2}$$

$$C_1 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i} \quad C_2 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{2A_i^2}$$

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60205:2016

## Bibliography

IEC 62317-13, *Ferrite cores – Dimensions – Part 13: PQ-cores for use in power supply applications*

---

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60205:2016

## SOMMAIRE

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| AVANT-PROPOS .....                                                                                                            | 40 |
| INTRODUCTION .....                                                                                                            | 42 |
| 1 Domaine d'application .....                                                                                                 | 43 |
| 2 Références normatives .....                                                                                                 | 43 |
| 3 Termes et définitions .....                                                                                                 | 43 |
| 4 Règles fondamentales applicables à cette norme .....                                                                        | 43 |
| 5 Formules pour les différents types de noyaux .....                                                                          | 44 |
| 5.1 Noyaux toriques .....                                                                                                     | 44 |
| 5.1.1 Noyaux toriques en général .....                                                                                        | 44 |
| 5.1.2 Pour les noyaux toriques de section transversale rectangulaire à angles vifs .....                                      | 45 |
| 5.1.3 Pour les noyaux toriques de section transversale rectangulaire avec un rayon de l'arrondi moyen appréciable $r_0$ ..... | 45 |
| 5.1.4 Pour les noyaux toriques de section transversale rectangulaire avec chanfrein appréciable $c_0$ .....                   | 45 |
| 5.1.5 Pour les noyaux toriques de section transversale trapézoïdale à angles vifs .....                                       | 45 |
| 5.1.6 Pour les noyaux toriques de section transversale trapézoïdale avec un rayon de l'arrondi moyen appréciable $r_0$ .....  | 45 |
| 5.1.7 Pour les noyaux toriques de section transversale à côtés frontaux à arc circulaire .....                                | 45 |
| 5.2 Paire de noyaux U de section rectangulaire .....                                                                          | 46 |
| 5.3 Paire de noyaux U de section circulaire .....                                                                             | 46 |
| 5.4 Paire de noyaux E de section rectangulaire .....                                                                          | 47 |
| 5.5 Paire de noyaux ETD/EER .....                                                                                             | 48 |
| 5.6 Paire de noyaux P .....                                                                                                   | 50 |
| 5.7 Paire de noyaux RM .....                                                                                                  | 52 |
| 5.8 Paire de noyaux ER .....                                                                                                  | 56 |
| 5.9 Paire de noyaux PM .....                                                                                                  | 57 |
| 5.10 Paire de noyaux EL .....                                                                                                 | 59 |
| 5.11 Paire de noyaux ER (profil bas) .....                                                                                    | 61 |
| 5.12 Paire de noyaux PQ .....                                                                                                 | 64 |
| 5.13 Paire de noyaux EFD .....                                                                                                | 67 |
| 5.14 Paire de noyaux planaires E .....                                                                                        | 69 |
| 5.15 Paire de noyaux EC .....                                                                                                 | 70 |
| Bibliographie .....                                                                                                           | 73 |
| Figure 1 – Noyaux toriques .....                                                                                              | 44 |
| Figure 2 – Paire de noyaux U de section rectangulaire .....                                                                   | 46 |
| Figure 3 – Paire de noyaux U de section circulaire .....                                                                      | 47 |
| Figure 4 – Paire de noyaux E de section rectangulaire .....                                                                   | 48 |
| Figure 5 – Paire de noyaux ETD/EER .....                                                                                      | 49 |
| Figure 6 – Paire de noyaux P .....                                                                                            | 50 |
| Figure 7 – Paire de noyaux RM .....                                                                                           | 54 |

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| Figure 8 – Paire de noyaux EP .....              | 56 |
| Figure 9 – Paire de noyaux PM .....              | 58 |
| Figure 10 – Paire de noyaux EL .....             | 59 |
| Figure 11 – Noyaux (plaques) PLT .....           | 60 |
| Figure 12 – Paire de noyaux ER (profil bas)..... | 62 |
| Figure 13 – Noyaux (plaques) PLT .....           | 62 |
| Figure 14 – Paire de noyaux PQ .....             | 64 |
| Figure 15 – Noyaux PQ.....                       | 65 |
| Figure 16 – Noyaux (plaques) PLT .....           | 65 |
| Figure 17 – Paire de noyaux EFD .....            | 67 |
| Figure 18 – Paire de noyaux planaires E.....     | 69 |
| Figure 19 – Noyaux (plaques) PLT .....           | 69 |
| Figure 20 – Paire de noyaux EC .....             | 71 |

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60205:2016

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

### CALCUL DES PARAMÈTRES EFFECTIFS DES PIÈCES MAGNÉTIQUES

#### AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Électrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. À cet effet, l'IEC – 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 l'IEC"). 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 l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC 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 l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC 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 l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC 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 l'IEC. L'IEC 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 l'IEC, 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 l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, 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 l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, 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 l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 60205 du comité d'études 51 de l'IEC: Composants magnétiques, ferrites et matériaux en poudre magnétique.

Cette quatrième édition annule et remplace la troisième édition parue en 2006 ainsi que l'Amendement 1:2009. Cette édition constitue une révision technique.

La présente édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) ajout, en 5.1, du dessin d'un noyau de section transversale rectangulaire avec chanfrein;
- b) ajout, en 5.1.3, de l'équation d'un noyau de section transversale rectangulaire avec chanfrein;
- c) les équations en 5.1.4, 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.11, 5.12, 5.14 sont amendées ou remplacées;

- d) les dessins RM6-S et RM6-R en 5.7 sont amendés;
- e) ajout de noyaux EC, voir 5.15.

La présente version bilingue (2021-01) correspond à la version anglaise monolingue publiée en 2016-11.

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

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

Le contenu du corrigendum de juillet 2018 a été pris en considération dans cet exemplaire.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60205:2016

## INTRODUCTION

Cette révision a pour objet de fournir des formules permettant à tout le monde d'obtenir les mêmes valeurs de paramètres effectifs. En premier lieu, il est nécessaire de disposer dans le processus de calcul d'un nombre suffisant de chiffres significatifs lorsqu'ils sont arrondis. De plus, certaines formules de calcul ont été modifiées pour se rapprocher des formes réelles.

La notion fondamentale de calcul demeure toutefois la même dans cette révision. Récemment, l'analyse du champ magnétique dans le noyau a été très largement optimisée pour pouvoir développer de nouvelles approches et formules à partir de ces notions.

À cela s'ajoutent les nouveaux "noyaux EC".

Les paramètres des normes IEC existantes seront révisés à la lumière des résultats des formules du présent document.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60205:2016

## CALCUL DES PARAMÈTRES EFFECTIFS DES PIÈCES MAGNÉTIQUES

### 1 Domaine d'application

Le présent document définit des règles uniformes pour le calcul des paramètres effectifs des circuits fermés de matériaux ferromagnétiques.

### 2 Références normatives

Le présent document ne contient aucune référence normative.

### 3 Termes et définitions

Aucun terme n'est défini dans le présent document.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

### 4 Règles fondamentales applicables à cette norme

**4.1** Tous les résultats doivent être exprimés en unités fondées sur le millimètre avec une précision de trois chiffres significatifs, mais pour déduire  $l_e$ ,  $A_e$  et  $V_e$ , le calcul des valeurs de  $C_1$  and  $C_2$  doit être effectué à cinq chiffres significatifs. Tous les angles sont exprimés en radians.

NOTE Un tel degré de précision vise uniquement à garantir que les paramètres calculés à différents endroits sont identiques et cela n'implique pas que les paramètres peuvent être déterminés avec une telle précision.

**4.2**  $A_{\min}$  est la valeur nominale de la plus petite section transversale.  $A_g$  est la section transversale géométrique d'un noyau torique de forme rectangulaire. Toutes les dimensions utilisées pour calculer  $A_{\min}$  doivent correspondre aux valeurs moyennes comprises dans les limites de tolérance indiquées sur le dessin de la pièce concernée. Tous les résultats doivent être exprimés en unités fondées sur le millimètre avec une précision de trois chiffres significatifs.

La surface de la section transversale physique minimale  $A_{\min}$  est donnée comme suit:  
$$A_{\min} = \min (A_i)$$

NOTE  $A_g$  à utiliser pour le mesurage de la densité du flux de saturation  $B_{\max}$  sur les noyaux toriques de section transversale rectangulaire.

**4.3** Les calculs sont uniquement applicables aux pièces de composants d'un circuit magnétique fermé.

**4.4** Chacune des dimensions utilisées pour les besoins des calculs doit être la valeur moyenne comprise dans les limites de tolérance indiquées sur le dessin de la pièce concernée.

**4.5** Toutes les irrégularités de la configuration du noyau, telles que les petites échancrures, encoches et petits chanfreins, etc., doivent être négligées, sauf description contraire.

**4.6** Lorsque la pièce faisant l'objet du calcul présente un angle vif, la longueur moyenne du trajet du flux pour cet angle doit être choisie comme le trajet circulaire moyen joignant les centres des deux sections uniformes adjacentes, et la surface de la section transversale associée à cette longueur doit être choisie comme la surface moyenne des deux sections uniformes adjacentes.

Calcul des paramètres effectifs  $l_e$ ,  $A_e$  et  $V_e$ .

Les paramètres effectifs peuvent être définis comme suit:

$$l_e = C_1^2 / C_2 \quad A_e = C_1 / C_2 \quad V_e = l_e A_e = C_1^3 / C_2^2$$

où

$l_e$  est la longueur magnétique effective du noyau (mm);

$A_e$  est la surface effective de la section transversale (mm<sup>2</sup>);

$V_e$  est le volume effectif (mm<sup>3</sup>);

$C_1$  est la constante du noyau (mm<sup>-1</sup>);

$C_2$  est la constante du noyau (mm<sup>-3</sup>).

## 5 Formules pour les différents types de noyaux

### 5.1 Noyaux toriques

#### 5.1.1 Noyaux toriques en général

La Figure 1 présente les dessins de noyaux toriques

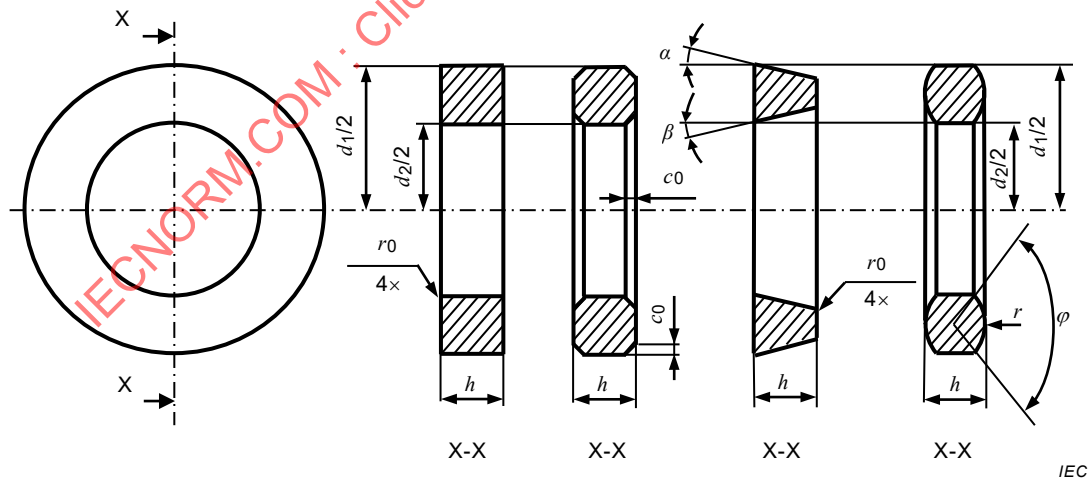


**Figure 1 – Noyaux toriques**

$$C_1 = \frac{2\pi}{h_e \ln(d_1/d_2)}$$

$$C_2 = \frac{4\pi(1/d_2 - 1/d_1)}{h_e^2 \ln^3(d_1/d_2)}$$

### 5.1.2 Pour les noyaux toriques de section transversale rectangulaire à angles vifs

$$h_e = h$$

La section transversale géométrique d'un noyau torique de forme rectangulaire  $A_g$  est donnée comme suit:

$$A_g = h \frac{d_2 - d_1}{2}$$

### 5.1.3 Pour les noyaux toriques de section transversale rectangulaire avec un rayon de l'arrondi moyen appréciable $r_0$

$$h_e = h(1 - k_1) \quad k_1 = \frac{1,7168 r_0^2}{h(d_1 - d_2)}$$

### 5.1.4 Pour les noyaux toriques de section transversale rectangulaire avec chanfrein appréciable $c_0$

$$h_e = h(1 - k_3) \quad k_3 = \frac{4c_0^2}{h(d_1 - d_2)}$$

La section transversale géométrique d'un noyau torique avec une forme de chanfrein appréciable  $A_g$  est donnée comme suit:

$$A_g = h \frac{d_2 - d_1}{2} - 2c_0^2$$

### 5.1.5 Pour les noyaux toriques de section transversale trapézoïdale à angles vifs

$$h_e = h(1 - k_2) \quad k_2 = \frac{h(\tan \alpha + \tan \beta)}{d_1 - d_2}$$

### 5.1.6 Pour les noyaux toriques de section transversale trapézoïdale avec un rayon de l'arrondi moyen appréciable $r_0$

$$h_e = h(1 - k_1 - k_2)$$

### 5.1.7 Pour les noyaux toriques de section transversale à côtés frontaux à arc circulaire

$$h_e = h - \frac{d_1 - d_2}{4 \sin^2(\varphi/2)} \left( 2 \sin \frac{\varphi}{2} - \frac{\sin \varphi}{2} - \frac{\varphi}{2} \right)$$

$$\varphi = 2 \arcsin \frac{d_1 - d_2}{4r}$$

Lorsque le bobinage est uniformément réparti sur un noyau torique, les lignes de flux peuvent être parallèles à sa surface en tous points à l'intérieur du noyau torique.

Par conséquent, aucune fuite de flux ne sort du noyau torique ni ne pénètre dans celui-ci. Ceci justifie l'utilisation d'une dérivation théoriquement plus correcte des paramètres effectifs qui ne prend pas en considération l'hypothèse selon laquelle la distribution du flux est uniforme dans la section transversale.

## 5.2 Paire de noyaux U de section rectangulaire

La Figure 2 présente les dessins d'une paire de noyaux U de section rectangulaire

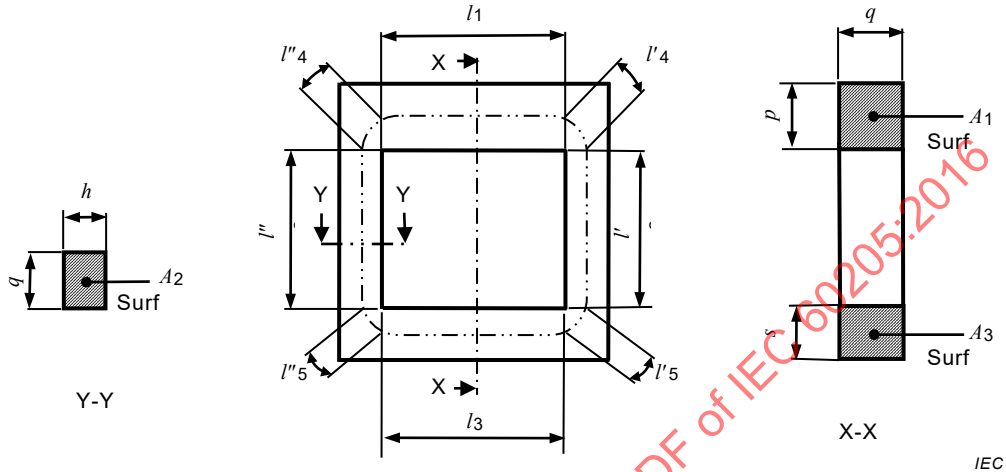


Figure 2 – Paire de noyaux U de section rectangulaire

Longueur du trajet du flux associé à la surface  $A_2$ :

$$l_2 = l_2' + l_2''$$

Longueur moyenne des trajets du flux aux angles:

$$l_4 = l_4' + l_4'' = \frac{\pi}{4}(p + h)$$

$$l_5 = l_5' + l_5'' = \frac{\pi}{4}(s + h)$$

Surfaces moyennes associées à  $l_4$  et  $l_5$ :

$$A_4 = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

$$A_5 = \frac{A_2 + A_3}{2}$$

$$C_1 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i} \quad C_2 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i^2}$$

## 5.3 Paire de noyaux U de section circulaire

La Figure 3 présente les dessins d'une paire de noyaux U de section circulaire

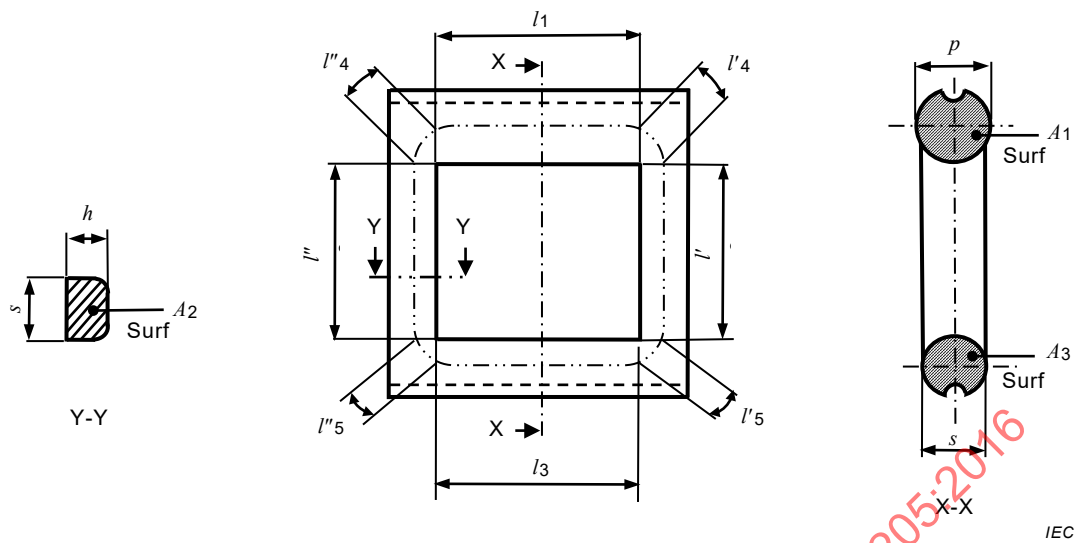


**Figure 3 – Paire de noyaux U de section circulaire**

Lors du calcul de  $A_2$ , ignorer les nervures introduites pour faciliter la fabrication.

Longueur du trajet du flux associé à la surface  $A_2$ :

$$l_2 = l'_2 + l''_2$$

Longueur moyenne du trajet du flux aux angles:

$$l_4 = l'_4 + l''_4 = \frac{\pi}{4}(p + h)$$

$$l_5 = l'_5 + l''_5 = \frac{\pi}{4}(s + h)$$

Surfaces moyennes associées à  $l_4$  et  $l_5$ :

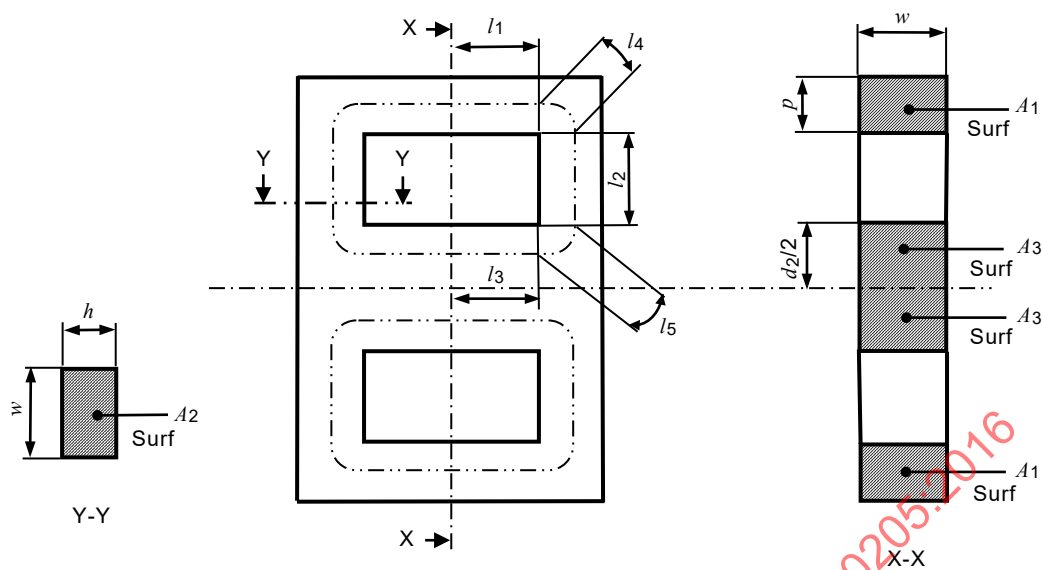
$$A_4 = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

$$A_5 = \frac{A_2 + A_3}{2}$$

$$C_1 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i} \quad C_2 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i^2}$$

#### 5.4 Paire de noyaux E de section rectangulaire

La Figure 4 présente les dessins d'une paire de noyaux E de section rectangulaire.



IEC

**Figure 4 – Paire de noyaux E de section rectangulaire**

Surface de la demi-branche centrale:  $A_3$

Longueur moyenne des trajets du flux aux angles:

$$l_4 = \frac{\pi}{8} (p + h)$$

$$l_5 = \frac{\pi}{8} \left( \frac{d_2}{2} + h \right)$$

Surfaces moyennes associées à  $l_4$  et  $l_5$ :

$$A_4 = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

$$A_5 = \frac{A_2 + A_3}{2}$$

$$C_1 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i} \quad C_2 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{2A_i^2}$$

## 5.5 Paire de noyaux ETD/EER

La Figure 5 présente les dessins d'une paire de noyaux ETD/EER.

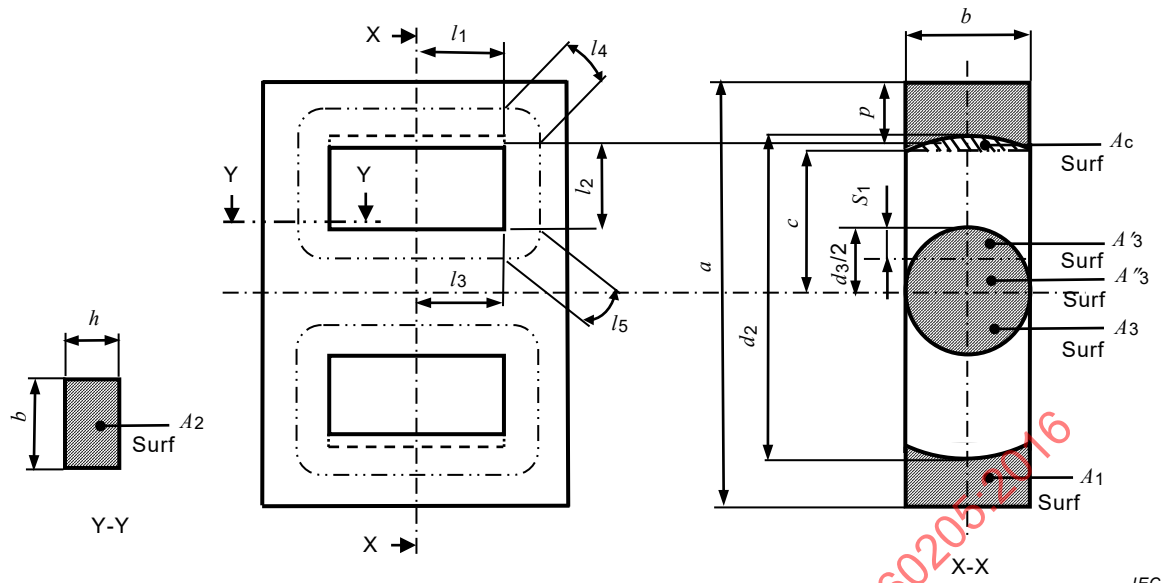


Figure 5 – Paire de noyaux ETD/EER

$A_1$  est égale au rectangle  $b\left(\frac{1}{2}a - c\right)$  moins la garniture ou le segment  $A_c$

$$A_c = \frac{1}{4}d_2^2 \arcsin\left(\frac{b}{d_2}\right) - \frac{1}{4}b\sqrt{d_2^2 - b^2}$$

$$A_1 = \frac{1}{2}ab - \frac{1}{4}b\sqrt{d_2^2 - b^2} - \frac{1}{4}d_2^2 \arcsin\left(\frac{b}{d_2}\right)$$

Longueur moyenne du trajet du flux au niveau des parois de fond:

$$l_2 = \frac{1}{4}\left(d_2 + \sqrt{d_2^2 - b^2}\right) - \frac{d_3}{2}$$

NOTE  $l_2$  est relevé à partir de la valeur moyenne de  $\frac{1}{2}(d_2 - d_3)$  et  $(c - d_3/2)$ .

Surface de la demi-branche centrale:

$$A_3 = A'_3 + A''_3$$

La condition pour obtenir  $A'_3 = A''_3$  est la suivante:

$$S_1 = 0,2980d_3$$

Longueur moyenne du trajet du flux aux angles:

$$l_4 = \frac{\pi}{8}(p + h)$$

où  $p = \frac{a}{2} - l_2 - \frac{d_3}{2}$

$$l_5 = \frac{\pi}{8}(2S_1 + h)$$

Surfaces moyennes associées à  $l_4$  et  $l_5$ :

$$A_4 = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

$$A_5 = \frac{A_2 + A_3}{2}$$

$$C_1 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i} \quad C_2 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{2A_i^2}$$

## 5.6 Paire de noyaux P

La Figure 6 présente les dessins d'une paire de noyaux P.

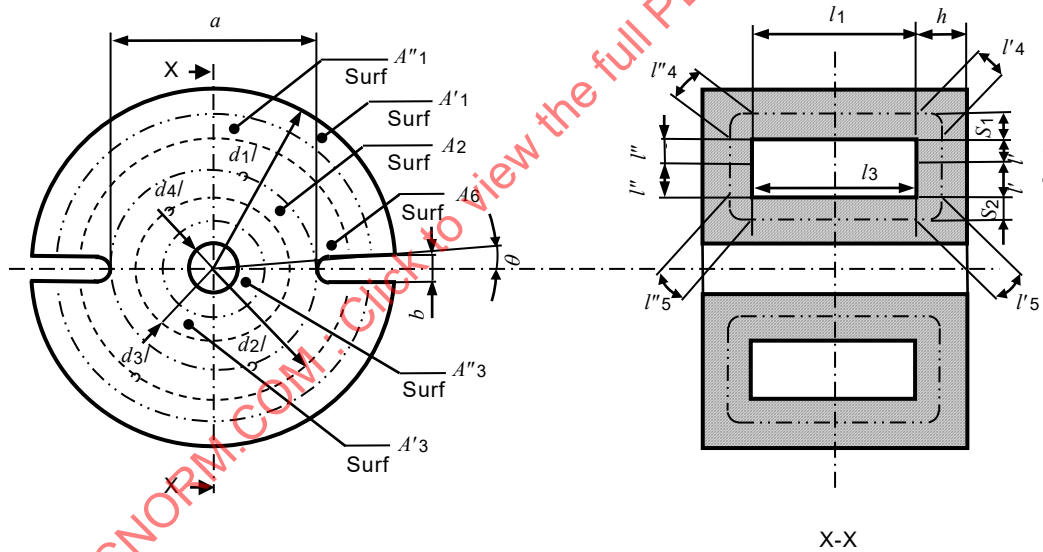


Figure 6 – Paire de noyaux P

Surface de l'anneau extérieur:

$$A_1 = A'_1 + A''_1$$

La condition pour obtenir  $A'_1 = A''_1$  est la suivante:

$$S_1 = -\frac{d_2}{2} + \sqrt{\frac{1}{8}(d_1^2 + d_2^2)}$$

Surface de la branche centrale:

$$A_3 = A'_3 + A''_3$$

La condition pour obtenir  $A'_3 = A''_3$  est la suivante:

$$S_2 = \frac{d_3}{2} - \sqrt{\frac{1}{8}(d_3^2 + d_4^2)}$$

Surface de l'anneau:

$$A_1 = \frac{1}{4}(\pi - n\theta)(d_1^2 - d_2^2)$$

$$\theta = \arcsin \frac{2b}{d_1 + d_2}$$

où

$b$  est la largeur d'encoche;

$n$  est le nombre d'encoches.

Facteurs de noyau associés à  $l_2$ :

$$\frac{l_2}{A_2} = \frac{1}{\pi h} \ln \frac{a}{d_3}$$

$$\frac{l_2}{A_2^2} = \frac{a - d_3}{\pi^2 a d_3 h^2}$$

Surface de la branche centrale:

$$A_3 = \frac{\pi}{4}(d_3^2 - d_4^2)$$

Longueur moyenne des trajets du flux aux angles:

$$l_4 = l'_4 + l''_4 = \frac{\pi}{4}(2S_1 + h)$$

$$l_5 = l'_5 + l''_5 = \frac{\pi}{4}(2S_2 + h)$$

Surfaces associées à  $l_4$  et  $l_5$ :

$A_4$  pour les noyaux avec encoche dans la paroi de fond:

$$A_4 = \frac{1}{8}(\pi - n\theta)(d_1^2 - d_2^2) + \frac{h}{2}(\pi d_2 - nb)$$

$A_4$  pour les noyaux sans encoche dans la paroi de fond:

$$A_4 = \frac{1}{8}(\pi - n\theta)(d_1^2 - d_2^2) + \frac{\pi}{2}d_2h$$

$$A_5 = \frac{\pi}{8}(d_3^2 - d_4^2 + 4d_3h)$$

Facteurs de noyau associés à  $l_6$ :

$$\frac{l_6}{A_6} = \frac{1}{(\pi - n\theta)h} \ln \frac{d_2}{a}$$

$$\frac{l_6}{A_6^2} = \frac{d_2 - a}{ad_2(\pi - n\theta)^2 h^2}$$

$$C_1 = \sum_{i=1}^6 \frac{l_i}{A_i} \quad C_2 = \sum_{i=1}^6 \frac{l_i}{A_i^2}$$

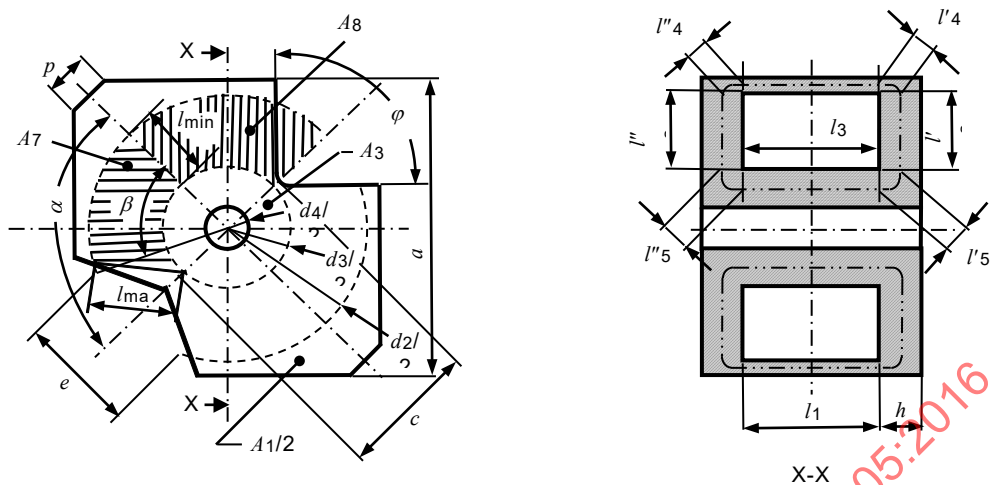
### 5.7 Paire de noyaux RM

La Figure 7 présente les dessins d'une paire de noyaux RM de Type 1 à Type 4.

Ce calcul est également applicable au type de noyau sans un trou.

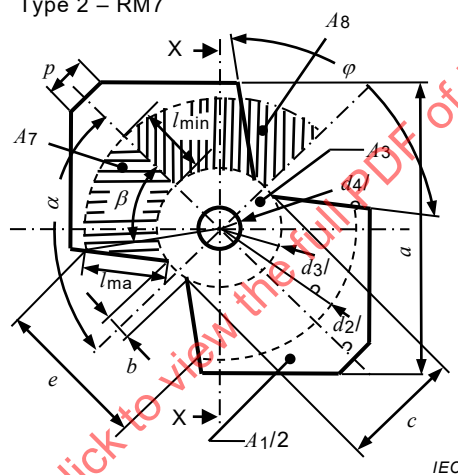
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60205:2016

Type 1 – RM6–S



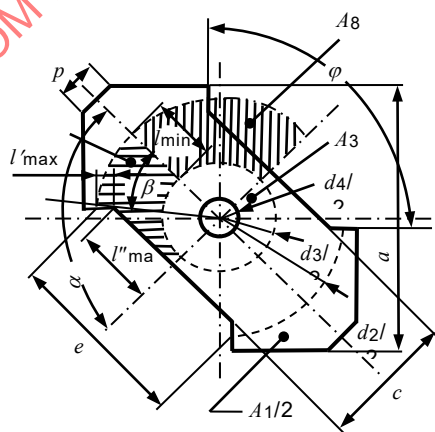
IEC

Type 2 – RM7



IEC

Type 3 – RM4, RM5, RM8, RM10, RM12, RM14



$$l_{max} = l'_{max} + l''_{max}$$

IEC

Type 4 – RM6–R

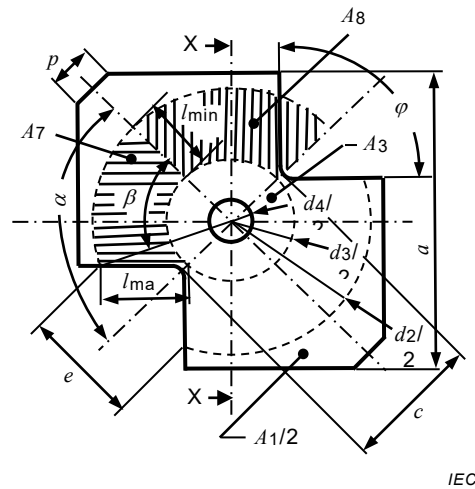


**Figure 7 – Paire de noyaux RM**

Surface totale de la branche extérieure:

$$A_1 = \frac{1}{2}a^2 \left\{ 1 + \tan\left(\beta - \frac{\pi}{4}\right) \right\} - \frac{\beta}{2}d_2^2 - \frac{1}{2}p^2$$

où  $\beta = \alpha - \arcsin \frac{e}{d_2}$

Facteurs de noyau associés à  $l_2$ :

$$\frac{l_2}{A_2} = \frac{\ln \frac{d_2}{d_3} f}{D\pi h}$$

$$\text{où } f = \frac{l_{\min} + l_{\max}}{2l_{\min}}, D = \frac{A_7}{A_8}$$

$$l_2 = l_2' + l_2''$$

$$\frac{l_2}{A_2^2} = \frac{(1/d_3 - 1/d_2)f}{(D\pi h)^2}$$

Type 1, Type 4:

$$l_{\max} = \sqrt{\frac{1}{4}(d_2^2 + d_3^2) - \frac{1}{2}d_2d_3 \cos(\alpha - \beta)}$$

Type 2:

$$l_{\max} = \sqrt{\frac{1}{4}(d_2^2 + d_3^2) - \frac{1}{2}d_2d_3 \cos(\alpha - \beta)} - \frac{b}{2 \sin \frac{\varphi}{2}}$$

Type 3:

$$l_{\max} = \frac{1}{2 \tan \beta \cdot \sin \frac{\varphi}{2}} [e \tan \beta - c(1 - \sin \frac{\varphi}{2})]$$

Type 1:

$$A_7 = \frac{1}{4} \left\{ \frac{\beta}{2} d_2^2 + \frac{1}{2} e^2 \tan \beta - \frac{1}{2} e^2 \tan \left( \alpha - \frac{\varphi}{2} \right) - \frac{\pi}{4} d_3^2 \right\}$$

Type 4:

$$A_7 = \frac{1}{4} \left\{ \frac{\beta}{2} d_2^2 + \frac{1}{2} d_2 d_3 \sin(\alpha - \beta) + \frac{1}{2} (c - d_3)^2 \tan \frac{\varphi}{2} - \frac{\pi}{4} d_3^2 \right\}$$

Type 2:

$$A_7 = \frac{1}{4} \left\{ \frac{\beta}{2} d_2^2 - \frac{\pi}{4} d_3^2 + \frac{1}{2} (b^2 - e^2) \tan \left( \alpha - \frac{\varphi}{2} \right) + \frac{1}{2} e^2 \tan \beta \right\}$$

Type 3:

$$A_7 = \frac{1}{4} \left\{ \frac{\beta}{2} d_2^2 - \frac{\pi}{4} d_3^2 + \frac{1}{2} c^2 \tan(\alpha - \beta) \right\}$$

$$A_8 = \frac{\alpha}{8} (d_2^2 - d_3^2)$$

Surface du pôle central:

$$A_3 = \frac{\pi}{4} (d_3^2 - d_4^2)$$

Longueur moyenne des trajets du flux aux angles et surfaces moyennes associées à ceux-ci:

$$l_4 = l'_4 + l''_4 = \frac{\pi}{4} \left( h + \frac{1}{2} a - \frac{1}{2} d_2 \right)$$

$$A_4 = \frac{1}{2} (A_1 + 2\beta d_2 h)$$

$$l_5 = l'_5 + l''_5 = \frac{\pi}{4} \left\{ d_3 + h - \sqrt{\frac{1}{2} (d_3^2 + d_4^2)} \right\}$$

$$A_5 = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\pi}{4} (d_3^2 - d_4^2) + 2\alpha d_3 h \right\}$$

$$C_1 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i} \quad C_2 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i^2}$$

Ce calcul ne tient pas compte de l'effet d'enfoncement du ressort et du goujon. Ceux-ci peuvent influencer sur le résultat du calcul, en particulier pour les noyaux de petite taille.

### 5.8 Paire de noyaux EP

La Figure 8 présente les dessins d'une paire de noyaux EP.

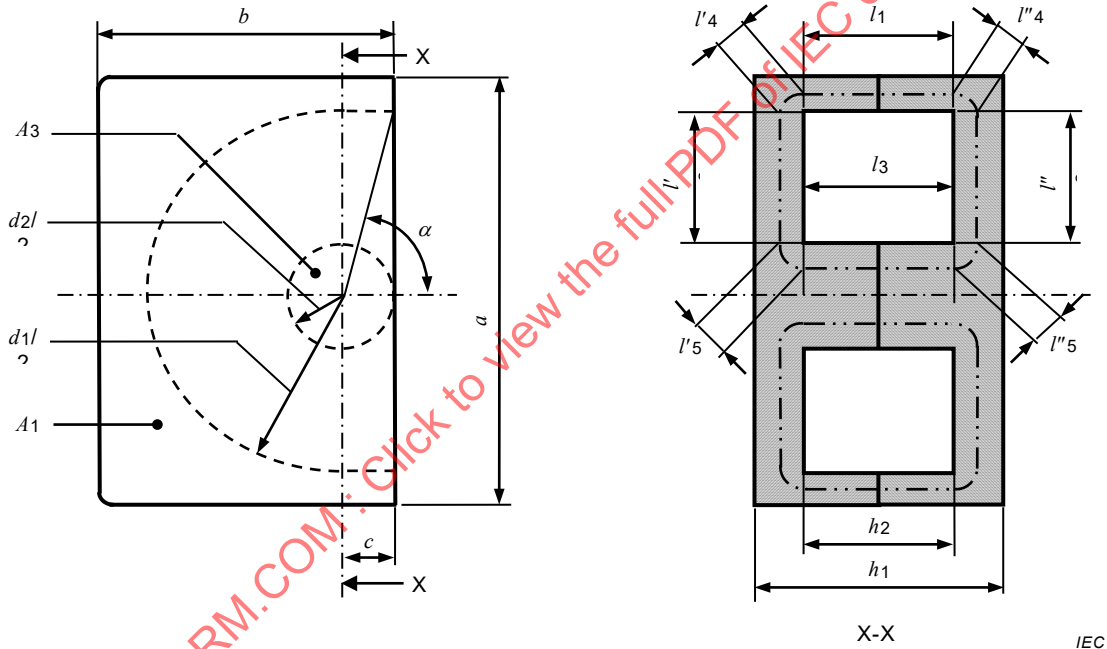


Figure 8 – Paire de noyaux EP

En tant que paire:

$$\frac{l_1}{A_1} = \frac{h_2}{ab - \pi d_1^2 / 8 - d_1 c}$$

$$\frac{l_1}{A_1^2} = \frac{h_2}{(ab - \pi d_1^2 / 8 - d_1 c)^2}$$

$$\frac{l_2}{A_2} = \frac{2}{(\pi - \alpha)(h_1 - h_2)} \ln \frac{d_1}{d_2}$$

$$\frac{l_2}{A_2^2} = \frac{4(d_1 - d_2)}{(\pi - \alpha)^2 (h_1 - h_2)^2 d_1 d_2}$$

$$\frac{l_3}{A_3} = \frac{h_2}{\pi \left(\frac{d_2}{2}\right)^2} = \frac{4h_2}{\pi d_2^2}$$

$$\frac{l_3}{A_3^2} = \frac{h_2}{\pi^2 \left(\frac{d_2}{2}\right)^4} = \frac{16h_2}{\pi^2 d_2^4}$$

Surfaces associées à  $l_4$  et  $l_5$ :

$$l_4 = l'_4 + l''_4 = \frac{\pi}{2} \left( \gamma - \frac{d_1}{2} + \frac{h_1 - h_2}{4} \right)$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{(\pi - \alpha)d_1^2 + 2(ab - \pi d_1^2 / 8 - d_1 d_2 / 2)}{4(\pi - \alpha)}}$$

où  $\gamma$  est un rayon hypothétique bissectant la surface de la section transversale de l'anneau.

$$A_4 = \frac{1}{2} \left\{ ab - \frac{\pi}{8} d_1^2 - \frac{d_1 d_2}{2} + (\pi - \alpha) d_1 \left( \frac{h_1}{2} - \frac{h_2}{2} \right) \right\}$$

$$l_5 = l'_5 + l''_5 = \frac{\pi}{2} \left( 0,292\,89 \frac{d_2}{2} + \frac{h_1 - h_2}{4} \right)$$

$$A_5 = \frac{\pi}{2} \left\{ \frac{d_2^2}{4} + \frac{d_2}{2} (h_1 - h_2) \right\}$$

$$C_1 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i} \quad C_2 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i^2}$$

## 5.9 Paire de noyaux PM

La Figure 9 présente les dessins d'une paire de noyaux PM.


$$A_1 = \frac{\beta}{2}(d_1^2 - d_2^2) - 2bt$$

Facteurs de noyau associés à  $l_2$ :

$$\frac{l_2}{A_2} = \frac{\ln \frac{d_2}{d_3} g}{D\pi(h_1 - h_2)/2}$$

$$l_{\max} = \sqrt{\frac{1}{4}(d_2^2 + d_3^2) - \frac{1}{2}d_2d_3 \cos(\alpha - \beta)}$$

$$\frac{l_2}{A_2^2} = \frac{(1/d_3 - 1/d_2)g}{\{D\pi(h_1 - h_2)/2\}^2}$$

$$A_7 = \frac{\beta}{8} d_2^2 + \frac{1}{8} f^2 \tan \beta - \frac{1}{8} f^2 \tan \left( \alpha - \frac{\varphi}{2} \right) - \frac{\pi}{16} d_3^2$$

$$A_8 = \frac{\alpha}{8} (d_2^2 - d_3^2)$$

Surface de la branche centrale:

$$A_3 = \frac{\pi}{4} (d_3^2 - d_4^2)$$

Longueur moyenne des trajets du flux aux angles et surfaces moyennes associées à ceux-ci:

$$l_4 = l'_4 + l''_4 = \frac{\pi}{8} (h_1 - h_2 + d_1 - d_2)$$

$$A_4 = \frac{1}{2} \{A_1 + \beta d_2 (h_1 - h_2)\}$$

$$l_5 = l'_5 + l''_5 = \frac{\pi}{4} \left\{ d_3 + \frac{h_1 - h_2}{2} - \sqrt{\frac{1}{2} (d_3^2 + d_4^2)} \right\}$$

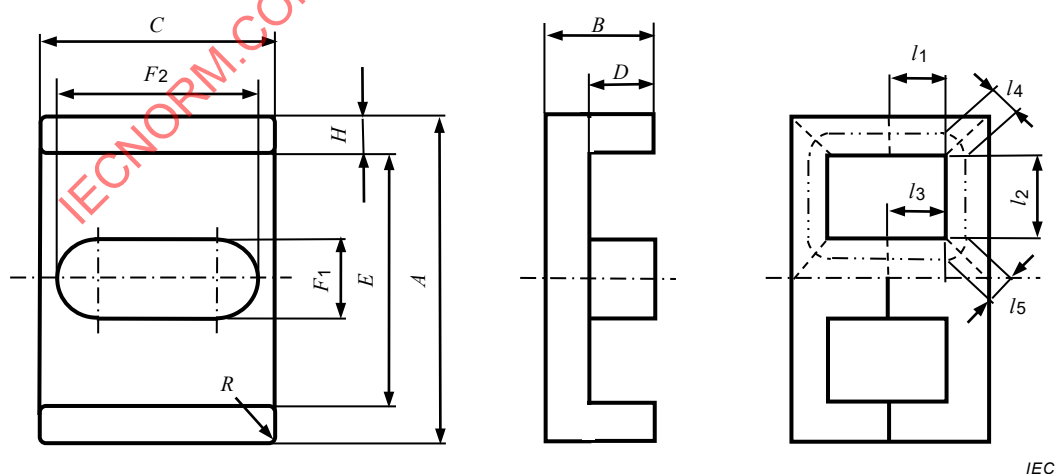
$$A_5 = \frac{\pi}{8} (d_3^2 - d_4^2) + \alpha d_3 \frac{(h_1 - h_2)}{2}$$

$$C_1 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i} \quad C_2 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i^2}$$

### 5.10 Paire de noyaux EL

La Figure 10 et la Figure 11 présentent les dessins d'une paire de noyaux EL et noyaux (plaques) PLT.

Les noyaux (plaques) EL + PLT utilisent les formules des noyaux EL.



IEC

Figure 10 – Paire de noyaux EL

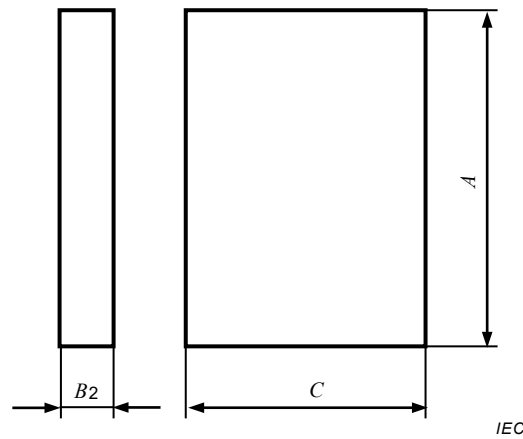


**Figure 11 – Noyaux (plaques) PLT**

Surface de la branche extérieure:

$$A_1 = \frac{1}{2}(A - E)C - 4\left(R^2 - \frac{1}{4}\pi R^2\right)$$

Longueur moyenne du trajet du flux au niveau de la branche extérieure:

$$l_1 = D$$

Surface de la paroi de fond:

$$A_2 = \frac{1}{2}(C + (F_2 - F_1) + \pi F_1/2)(B - D)$$

Longueur moyenne du flux au niveau de la paroi de fond:

$$l_2 = \left(\frac{E}{2} - \frac{F_1}{2}\right)$$

Surface de la branche centrale:

$$A_3 = \frac{1}{2}\left\{\frac{1}{4}\pi F_1^2 + (F_2 - F_1)F_1\right\}$$

Longueur moyenne du trajet du flux au niveau de la branche centrale:

$$l_3 = D$$

Surface du coin extérieur:

$$A_4 = \frac{A_1 + A_{21}}{2}$$

où  $A_{21} = (B - D)C$