

Exposure to electric or magnetic fields in the low and intermediate frequency range – Methods for calculating the current density and internal electric field induced in the human body Part 2-1: Exposure to magnetic fields – 2D models

EESTI STANDARDI EESSÕNA

NATIONAL FOREWORD

Käesolev Eesti standard EVS-EN 62226-2-1:2005 sisaldab Euroopa standardi EN 62226-2-1:2005 ingliskeelset teksti.

Standard on kinnitatud Eesti Standardikeskuse 23.02.2005 käskkirjaga ja jõustub sellekohase teate avaldamisel EVS Teatajas.

Euroopa standardimisorganisatsioonide poolt rahvuslikele liikmetele Euroopa standardi teksti kättesaadavaks tegemise kuupäev on 14.01.2005.

Standard on kättesaadav Eesti standardiorganisatsioonist.

This Estonian standard EVS-EN 62226-2-1:2005 consists of the English text of the European standard EN 62226-2-1:2005.

This standard is ratified with the order of Estonian Centre for Standardisation dated 23.02.2005 and is endorsed with the notification published in the official bulletin of the Estonian national standardisation organisation.

Date of Availability of the European standard text 14.01.2005.

The standard is available from Estonian standardisation organisation.

ICS 17.220.20

Võtmesõnad:

Standardite reprodutseerimis- ja levitamiseõigus kuulub Eesti Standardikeskusele

Andmete paljundamine, taastekitamine, kopeerimine, salvestamine elektroonilisse süsteemi või edastamine ükskõik millises vormis või millisel teel on keelatud ilma Eesti Standardikeskuse poolt antud kirjaliku loata.

Kui Teil on küsimusi standardite autorikaitse kohta, palun võtke ühendust Eesti Standardikeskusega:
Aru 10 Tallinn 10317 Eesti; www.evs.ee; Telefon: 605 5050; E-post: info@evs.ee

**Exposure to electric or magnetic fields
in the low and intermediate frequency range –
Methods for calculating the current density
and internal electric field induced in the human body
Part 2-1: Exposure to magnetic fields –
2D models
(IEC 62226-2-1:2004)**

Exposition aux champs électriques
ou magnétiques à basse
et moyenne fréquence –
Méthodes de calcul des densités
de courant induit et des champs
électriques induits dans le corps humain
Partie 2-1: Exposition à des champs
magnétiques –
Modèles 2D
(CEI 62226-2-1:2004)

Sicherheit in elektrischen oder
magnetischen Feldern im niedrigen und
mittleren Frequenzbereich –
Verfahren zur Berechnung der induzierten
Körperstromdichte und des im
menschlichen Körper induzierten
elektrischen Feldes
Teil 2-1: Exposition gegenüber
magnetischen Feldern –
2D-Modelle
(IEC 62226-2-1:2004)

This European Standard was approved by CENELEC on 2004-12-01. CENELEC members are bound to comply with the CEN/CENELEC Internal Regulations which stipulate the conditions for giving this European Standard the status of a national standard without any alteration.

Up-to-date lists and bibliographical references concerning such national standards may be obtained on application to the Central Secretariat or to any CENELEC member.

This European Standard exists in three official versions (English, French, German). A version in any other language made by translation under the responsibility of a CENELEC member into its own language and notified to the Central Secretariat has the same status as the official versions.

CENELEC members are the national electrotechnical committees of Austria, Belgium, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland and United Kingdom.

CENELEC

European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique
Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung

Central Secretariat: rue de Stassart 35, B - 1050 Brussels

Foreword

The text of document 106/79/FDIS, future edition 1 of IEC 62226-2-1, prepared by IEC TC 106, Methods for the assessment of electric, magnetic and electromagnetic fields associated with human exposure, was submitted to the IEC-CENELEC parallel vote and was approved by CENELEC as EN 62226-2-1 on 2004-12-01.

This Part 2-1 is to be used in conjunction with EN 62226-1¹⁾.

The following dates were fixed:

- | | | |
|--|-------|------------|
| – latest date by which the EN has to be implemented at national level by publication of an identical national standard or by endorsement | (dop) | 2005-09-01 |
| – latest date by which the national standards conflicting with the EN have to be withdrawn | (dow) | 2007-12-01 |

Endorsement notice

The text of the International Standard IEC 62226-2-1:2004 was approved by CENELEC as a European Standard without any modification.

¹⁾ To be published.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

62226-2-1

Première édition
First edition
2004-11

**Exposition aux champs électriques ou
magnétiques à basse et moyenne fréquence –
Méthodes de calcul des densités de courant
induit et des champs électriques induits
dans le corps humain –**

**Partie 2-1:
Exposition à des champs magnétiques –
Modèles 2D**

**Exposure to electric or magnetic fields
in the low and intermediate frequency range –
Methods for calculating the current density
and internal electric field induced
in the human body –**

**Part 2-1:
Exposure to magnetic fields – 2D models**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 62226-2-1:2004

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions consolidées

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

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique. Des renseignements relatifs à cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- Site web de la CEI (www.iec.ch)
- Catalogue des publications de la CEI

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/searchpub) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- IEC Just Published

Ce résumé des dernières publications parues (www.iec.ch/online_news/justpub) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- Service clients

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Further information on IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology. Information relating to this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- IEC Web Site (www.iec.ch)
- Catalogue of IEC publications

The on-line catalogue on the IEC web site (www.iec.ch/searchpub) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- IEC Just Published

This summary of recently issued publications (www.iec.ch/online_news/justpub) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- Customer Service Centre

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: custserv@iec.ch
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

62226-2-1

Première édition
First edition
2004-11

**Exposition aux champs électriques ou
magnétiques à basse et moyenne fréquence –
Méthodes de calcul des densités de courant
induit et des champs électriques induits
dans le corps humain –**

**Partie 2-1:
Exposition à des champs magnétiques –
Modèles 2D**

**Exposure to electric or magnetic fields
in the low and intermediate frequency range –
Methods for calculating the current density
and internal electric field induced
in the human body –**

**Part 2-1:
Exposure to magnetic fields – 2D models**

© IEC 2004 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

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

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

XA

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	8
INTRODUCTION.....	12
1 Domaine d'application	14
2 Modèles analytiques.....	14
2.1 Généralités.....	14
2.2 Modèles analytiques de base pour les champs uniformes	16
3 Modèles numériques.....	18
3.1 Informations générales sur les modèles numériques.....	18
3.2 Modèles 2D – Approche générale	20
3.3 Conductivité des tissus vivants	22
3.4 Modèles 2D – Conditions des calculs numériques	24
3.5 Facteur de couplage pour le champ magnétique non uniforme	24
3.6 Modèles 2D – Résultats des calculs numériques	26
4 Validation des modèles.....	30
Annexe A (normative) Disque dans un champ uniforme	32
Annexe B (normative) Disque dans un champ créé par un fil de longueur infinie.....	38
Annexe C (normative) Disque dans un champ créé par 2 fils parallèles parcourus par des courants équilibrés	54
Annexe D (normative) Disque dans un champ magnétique créé par une spire circulaire	76
Annexe E (informative) Approche simplifiée des phénomènes électromagnétiques	100
Annexe F (informative) Calcul analytique du champ magnétique créée par des systèmes simples d'induction: 1 fil, 2 fils parallèles parcourus par des courants équilibrés et 1 spire circulaire	104
Annexe G (informative) Equations et modèles numériques pour les phénomènes électromagnétiques dans une structure type: disque conducteur dans un champ électromagnétique	108
Bibliographie	112
Figure 1 – Disque conducteur dans une densité de flux magnétique uniforme.....	16
Figure 2 – Maillage par éléments finis (triangles d'ordre 2) d'un disque, et détail	20
Figure 3 – Disque conducteur dans une densité de flux magnétique non uniforme.....	22
Figure 4 – Variation du facteur de couplage pour le champ magnétique non uniforme K avec la distance à la source, pour les trois types de sources de champ magnétique (rayon du disque $R = 100$ mm)	28
Figure A.1 – Lignes de densité de courant J et distribution de J dans le disque	32
Figure A.2 – $J = f[r]$: Distribution ponctuelle de la densité de courant induit calculée le long d'un diamètre d'un disque homogène dans un champ magnétique uniforme.....	34
Figure A.3 – $J_i = f[r]$: Distribution de la densité intégrée de courant induit calculée le long d'un diamètre d'un disque homogène dans un champ magnétique uniforme.....	36
Figure B.1 – Disque dans le champ magnétique créé par un fil rectiligne infini	38
Figure B.2 – Lignes de densité de courant J et distribution de J dans le disque (source: 1 fil, situé à $d = 10$ mm du bord du disque)	40

CONTENTS

FOREWORD.....	9
INTRODUCTION.....	13
1 Scope	15
2 Analytical models	15
2.1 General.....	15
2.2 Basic analytical models for uniform fields	17
3 Numerical models.....	19
3.1 General information about numerical models.....	19
3.2 2D models – General approach.....	21
3.3 Conductivity of living tissues.....	23
3.4 2D Models – Computation conditions	25
3.5 Coupling factor for non-uniform magnetic field.....	25
3.6 2D Models – Computation results.....	27
4 Validation of models	31
Annex A (normative) Disk in a uniform field	33
Annex B (normative) Disk in a field created by an infinitely long wire.....	39
Annex C (normative) Disk in a field created by 2 parallel wires with balanced currents	55
Annex D (normative) Disk in a magnetic field created by a circular coil	77
Annex E (informative) Simplified approach of electromagnetic phenomena.....	101
Annex F (informative) Analytical calculation of magnetic field created by simple induction systems: 1 wire, 2 parallel wires with balanced currents and 1 circular coil.....	105
Annex G (informative) Equation and numerical modelling of electromagnetic phenomena for a typical structure: conductive disk in electromagnetic field.....	109
Bibliography	113
Figure 1 – Conducting disk in a uniform magnetic flux density.....	17
Figure 2 – Finite elements meshing (2 nd order triangles) of a disk, and detail	21
Figure 3 – Conducting disk in a non-uniform magnetic flux density.....	23
Figure 4 – Variation with distance to the source of the coupling factor for non-uniform magnetic field, K , for the three magnetic field sources (disk radius $R = 100$ mm).....	29
Figure A.1 – Current density lines J and distribution of J in the disk	33
Figure A.2 – $J = f[r]$: Spot distribution of induced current density calculated along a diameter of a homogeneous disk in a uniform magnetic field.....	35
Figure A.3 – $J_i = f[r]$: Distribution of integrated induced current density calculated along a diameter of a homogeneous disk in a uniform magnetic field.....	37
Figure B.1 – Disk in the magnetic field created by an infinitely straight wire	39
Figure B.2 – Current density lines J and distribution of J in the disk (<i>source: 1 wire, located at $d = 10$ mm from the edge of the disk</i>).....	41

Figure B.3 – Distribution ponctuelle de la densité de courant induit le long du diamètre AA du disque (source: 1 fil, situé à $d = 10$ mm du bord du disque).....	40
Figure B.4 – Distribution de la densité intégrée de courant induit le long du diamètre AA du disque (source: 1 fil, situé à $d = 10$ mm du bord du disque).....	42
Figure B.5 – Lignes de densité de courant J et distribution de J dans le disque (source: 1 fil, situé à $d = 100$ mm du bord du disque)	42
Figure B.6 – Distribution de la densité intégrée de courant induit le long du diamètre AA du disque (source: 1 fil, situé à $d = 100$ mm du bord du disque).....	44
Figure B.7 – Courbe paramétrique du facteur K pour des distances jusqu'à 300 mm d'une source consistant en un fil de longueur infinie (disque: $R = 100$ mm).....	46
Figure B.8 – Courbe paramétrique du facteur K pour des distances jusqu'à 1 900 mm d'une source consistant en un fil de longueur infinie (disque: $R = 100$ mm).....	48
Figure B.9 – Courbe paramétrique du facteur K pour des distances jusqu'à 300 mm d'une source consistant en un fil de longueur infinie (disque: $R = 200$ mm).....	50
Figure B.10 – Courbe paramétrique du facteur K pour des distances jusqu'à 1 900 mm d'une source consistant en un fil de longueur infinie (disque: $R = 200$ mm).....	52
Figure C.1 – Disque conducteur dans un champ magnétique créé par 2 fils parallèles parcourus par des courants équilibrés	54
Figure C.2 – Lignes de densité de courant J et distribution de J dans le disque (source: 2 fils parallèles parcourus par des courants équilibrés, séparés par 5 mm, situés à $d = 7,5$ mm du bord du disque)	56
Figure C.3 – $J_i = f[r]$: Distribution de la densité intégrée de courant induit calculée le long du diamètre AA du disque (source: 2 fils parallèles parcourus par des courants équilibrés, situés à $d = 7,5$ mm du bord du disque)	56
Figure C.4 – Lignes de densité de courant J et distribution de J dans le disque (source: 2 fils parallèles parcourus par des courants équilibrés, séparés par 5 mm, situés à $d = 97,5$ mm du bord du disque)	58
Figure C.5 – $J_i = f[r]$: Distribution de la densité intégrée de courant induit calculée le long du diamètre AA du disque (source: 2 fils parallèles parcourus par des courants équilibrés, séparés par 5 mm, situés à $d = 97,5$ mm du bord du disque)	58
Figure C.6 – Courbes paramétriques du facteur K pour des distances jusqu'à 300 mm d'une source constituée de 2 fils parallèles parcourus par des courants équilibrés et pour différentes distances entre les 2 fils (disque homogène $R = 100$ mm)	60
Figure C.7 – Courbes paramétriques du facteur K pour des distances jusqu'à 1 900 mm d'une source constituée de 2 fils parallèles parcourus par des courants équilibrés et pour différentes distances entre les 2 fils (disque homogène $R = 100$ mm)	64
Figure C.8 – Courbes paramétriques du facteur K pour des distances jusqu'à 300 mm d'une source constituée de 2 fils parallèles parcourus par des courants équilibrés et pour différentes distances entre les 2 fils (disque homogène $R = 200$ mm).....	68
Figure C.9 – Courbes paramétriques du facteur K pour des distances jusqu'à 1 900 mm d'une source constituée de 2 fils parallèles parcourus par des courants équilibrés et pour différentes distances entre les 2 fils (disque homogène $R = 200$ mm)	72
Figure D.1 – Disque conducteur dans un champ magnétique créé par une spire.....	76
Figure D.2 – Lignes de densité de courant J et distribution de J dans le disque (source: spire de rayon $r = 50$ mm, disque conducteur $R = 100$ mm, $d = 5$ mm).....	78
Figure D.3 – $J_i = f[r]$: Distribution de la densité intégrée de courant induit calculée le long du diamètre AA du disque (source: spire de rayon $r = 50$ mm, disque conducteur $R = 100$ mm, $d = 5$ mm)	78
Figure D.4 – Lignes de densité de courant J et distribution de J dans le disque (source: spire de rayon $r = 200$ mm, disque conducteur $R = 100$ mm, $d = 5$ mm).....	80

Figure B.3 – Spot distribution of induced current density along the diameter AA of the disk (source: 1 wire, located at $d = 10$ mm from the edge of the disk)	41
Figure B.4 – Distribution of integrated induced current density along the diameter AA of the disk (source: 1 wire, located at $d = 10$ mm from the edge of the disk)	43
Figure B.5 – Current density lines J and distribution of J in the disk (source: 1 wire, located at $d = 100$ mm from the edge of the disk)	43
Figure B.6 – Distribution of integrated induced current density along the diameter AA of the disk (source: 1 wire, located at $d = 100$ mm from the edge of the disk)	45
Figure B.7 – Parametric curve of factor K for distances up to 300 mm to a source consisting of an infinitely long wire (disk: $R = 100$ mm)	47
Figure B.8 – Parametric curve of factor K for distances up to 1 900 mm to a source consisting of an infinitely long wire (disk: $R = 100$ mm)	49
Figure B.9 – Parametric curve of factor K for distances up to 300 mm to a source consisting of an infinitely long wire (disk: $R = 200$ mm)	51
Figure B.10 – Parametric curve of factor K for distances up to 1 900 mm to a source consisting of an infinitely long wire (disk: $R = 200$ mm)	53
Figure C.1 – Conductive disk in the magnetic field generated by 2 parallel wires with balanced currents	55
Figure C.2 – Current density lines J and distribution of J in the disk (source: 2 parallel wires with balanced currents, separated by 5 mm, located at $d = 7,5$ mm from the edge of the disk)	57
Figure C.3 – $J_i = f[r]$: Distribution of integrated induced current density calculated along the diameter AA of the disk (source: 2 parallel wires with balanced currents, separated by 5 mm, located at $d = 7,5$ mm from the edge of the disk)	57
Figure C.4 – Current density lines J and distribution of J in the disk (source: 2 parallel wires with balanced currents separated by 5 mm, located at $d = 97,5$ mm from the edge of the disk)	59
Figure C.5 – $J_i = f[r]$: Distribution of integrated induced current density calculated along the diameter AA of the disk (source: 2 parallel wires with balanced currents separated by 5 mm, located at $d = 97,5$ mm from the edge of the disk)	59
Figure C.6 – Parametric curves of factor K for distances up to 300 mm to a source consisting of 2 parallel wires with balanced currents and for different distances e between the 2 wires (homogeneous disk $R = 100$ mm)	61
Figure C.7 – Parametric curves of factor K for distances up to 1 900 mm to a source consisting of 2 parallel wires with balanced currents and for different distances e between the 2 wires (homogeneous disk $R = 100$ mm)	65
Figure C.8 – Parametric curves of factor K for distances up to 300 mm to a source consisting of 2 parallel wires with balanced currents and for different distances e between the 2 wires (homogeneous disk $R = 200$ mm)	69
Figure C.9 – Parametric curves of factor K for distances up to 1 900 mm to a source consisting of 2 parallel wires with balanced currents and for different distances e between the 2 wires (homogeneous disk $R = 200$ mm)	73
Figure D.1 – Conductive disk in a magnetic field created by a coil	77
Figure D.2 – Current density lines J and distribution of J in the disk (source: coil of radius $r = 50$ mm, conductive disk $R = 100$ mm, $d = 5$ mm)	79
Figure D.3 – $J_i = f[r]$: Distribution of integrated induced current density calculated along the diameter AA of the disk (source: coil of radius $r = 50$ mm, conductive disk $R = 100$ mm, $d = 5$ mm)	79
Figure D.4 – Current density lines J and distribution of J in the disk (source: coil of radius $r = 200$ mm, conductive disk $R = 100$ mm, $d = 5$ mm)	81

Figure D.5– $J_i = f[r]$: Distribution de la densité intégrée de courant induit calculée le long du diamètre AA du disque (source: spire de rayon $r = 200$ mm, disque conducteur $R = 100$ mm, $d = 5$ mm)	80
Figure D.6 – Lignes de densité de courant J et distribution de J dans le disque (source: spire de rayon $r = 10$ mm, disque conducteur $R = 100$ mm, $d = 5$ mm)	82
Figure D.7 – $J_i = f[r]$: Distribution de la densité intégrée de courant induit calculée le long du diamètre AA du disque (source: spire de rayon $r = 10$ mm, disque conducteur $R = 100$ mm, $d = 5$ mm)	82
Figure D.8 – Courbes paramétriques du facteur K pour des distances jusqu'à 300 mm d'une source consistant en une spire et pour différents rayons de spire r (disque homogène $R = 100$ mm)	84
Figure D.9 – Courbes paramétriques du facteur K pour des distances jusqu'à 1 900 mm d'une source consistant en une spire et pour différents rayons de spire r (disque homogène $R = 100$ mm)	88
Figure D.10 – Courbes paramétriques du facteur K pour des distances jusqu'à 300 mm d'une source consistant en une spire et pour différents rayons de spire r (disque homogène $R = 200$ mm)	92
Figure D.11 – Courbes paramétriques du facteur K pour des distances jusqu'à 1 900 mm d'une source consistant en une spire et pour différents rayons de spire r (disque homogène $R = 200$ mm)	96
Tableau 1 – Valeurs numériques du facteur de couplage pour le champ magnétique non uniforme K pour différents types de sources de champ magnétique, à différentes distances entre les sources et le disque conducteur ($R = 100$ mm)	30
Tableau B.1 – Valeurs numériques du facteur K pour des distances jusqu'à 300 mm d'une source consistant en un fil de longueur infinie (disque: $R = 100$ mm)	46
Tableau B.2 – Valeur numérique du facteur K pour des distances jusqu'à 1 900 mm d'une source consistant en un fil de longueur infinie (disque: $R = 100$ mm)	48
Tableau B.3 – Valeurs numériques du facteur K pour des distances jusqu'à 300 mm d'une source consistant en un fil de longueur infinie (disque: $R = 200$ mm)	50
Tableau B.4 – Valeurs numériques du facteur K pour des distances jusqu'à 1 900 mm d'une source consistant en un fil de longueur infinie (disque: $R = 200$ mm)	52
Tableau C.1 – Valeurs numériques du facteur K pour des distances jusqu'à 300 mm d'une source constituée de 2 fils parallèles parcourus par des courants équilibrés (disque homogène $R = 100$ mm)	62
Tableau C.2 – Valeurs numériques du facteur K pour des distances jusqu'à 1 900 mm d'une source constituée de 2 fils parallèles parcourus par des courants équilibrés (disque homogène $R = 100$ mm)	66
Tableau C.3 – Valeurs numériques du facteur K pour des distances jusqu'à 300 mm d'une source constituée de 2 fils parallèles parcourus par des courants équilibrés (disque homogène $R = 200$ mm)	70
Tableau C.4 – Valeurs numériques du facteur K pour des distances jusqu'à 1 900 mm d'une source constituée de 2 fils parallèles parcourus par des courants équilibrés (disque homogène $R = 200$ mm)	74
Tableau D.1 – Valeurs numériques du facteur K pour des distances jusqu'à 300 mm d'une source consistant en une spire (disque homogène $R = 100$ mm)	86
Tableau D.2 – Valeurs numériques du facteur K pour des distances jusqu'à 1 900 mm d'une source consistant en une spire (disque homogène $R = 100$ mm)	90
Tableau D.3 – Valeurs numériques de facteur K pour des distances jusqu'à 300 mm d'une source consistant en une spire (disque homogène $R = 200$ mm)	94
Tableau D.4 – Valeurs numériques du facteur K pour des distances jusqu'à 1 900 mm d'une source consistant en une spire (disque homogène $R = 200$ mm)	98

Figure D.5 – $J_i = f[r]$: Distribution of integrated induced current density calculated along the diameter AA of the disk (source: coil of radius $r = 200$ mm, conductive disk $R = 100$ mm, $d = 5$ mm)	81
Figure D.6 – Current density lines J and distribution of J in the disk (source: coil of radius $r = 10$ mm, conductive disk $R = 100$ mm, $d = 5$ mm)	83
Figure D.7 – $J_i = f[r]$: Distribution of integrated induced current density calculated along the diameter AA of the disk (source: coil of radius $r = 10$ mm, conductive disk $R = 100$ mm, $d = 5$ mm)	83
Figure D.8 – Parametric curves of factor K for distances up to 300 mm to a source consisting of a coil and for different coil radius r (homogeneous disk $R = 100$ mm)	85
Figure D.9 – Parametric curves of factor K for distances up to 1 900 mm to a source consisting of a coil and for different coil radius r (homogeneous disk $R = 100$ mm)	89
Figure D.10 – Parametric curves of factor K for distances up to 300 mm to a source consisting of a coil and for different coil radius r (homogeneous disk $R = 200$ mm)	93
Figure D.11 – Parametric curves of factor K for distances up to 1 900 mm to a source consisting of a coil and for different coil radius r (homogeneous disk $R = 200$ mm)	97
Table 1 – Numerical values of the coupling factor for non-uniform magnetic field K for different types of magnetic field sources, and different distances between sources and conductive disk ($R = 100$ mm)	31
Table B.1 – Numerical values of factor K for distances up to 300 mm to a source consisting of an infinitely long wire (disk: $R = 100$ mm)	47
Table B.2 – Numerical values of factor K for distances up to 1 900 mm to a source consisting of an infinitely long wire (disk: $R = 100$ mm)	49
Table B.3 – Numerical values of factor K for distances up to 300 mm to a source consisting of an infinitely long wire (disk: $R = 200$ mm)	51
Table B.4 – Numerical values of factor K for distances up to 1 900 mm to a source consisting of an infinitely long wire (disk: $R = 200$ mm)	53
Table C.1 – Numerical values of factor K for distances up to 300 mm to a source consisting of 2 parallel wires with balanced currents (homogeneous disk: $R = 100$ mm)	63
Table C.2 – Numerical values of factor K for distances up to 1 900 mm to a source consisting of 2 parallel wires with balanced currents (homogeneous disk: $R = 100$ mm)	67
Table C.3 – Numerical values of factor K for distances up to 300 mm to a source consisting of 2 parallel wires with balanced currents (homogeneous disk: $R = 200$ mm)	71
Table C.4 – Numerical values of factor K for distances up to 1 900 mm to a source consisting of 2 parallel wires with balanced currents (homogeneous disk: $R = 200$ mm)	75
Table D.1 – Numerical values of factor K for distances up to 300 mm to a source consisting of a coil (homogeneous disk: $R = 100$ mm)	87
Table D.2 – Numerical values of factor K for distances up to 1 900 mm to a source consisting of a coil (homogeneous disk: $R = 100$ mm)	91
Table D.3 – Numerical values of factor K for distances up to 300 mm to a source consisting of a coil (homogeneous disk: $R = 200$ mm)	95
Table D.4 – Numerical values of factor K for distances up to 1 900 mm to a source consisting of a coil (homogeneous disk: $R = 200$ mm)	99

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

EXPOSITION AUX CHAMPS ÉLECTRIQUES OU MAGNÉTIQUES À BASSE ET MOYENNE FRÉQUENCE – MÉTHODES DE CALCUL DES DENSITÉS DE COURANT INDUIT ET DES CHAMPS ÉLECTRIQUES INDUITS DANS LE CORPS HUMAIN –

Partie 2-1: Exposition à des champs magnétiques – Modèles 2D

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 n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 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, 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 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 62226-2-1 a été établie par le comité technique 106: Méthodes d'évaluation des champs électriques, magnétiques et électromagnétiques en relation avec l'exposition humaine.

La présente Partie 2-1 doit être utilisée conjointement avec la première édition de la CEI 62226-1:2004, *Exposition aux champs électriques ou magnétiques à basse et moyenne fréquence – Méthodes de calcul des densités de courant induit et des champs électriques induits dans le corps humain – Partie 1: Généralités.*

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**EXPOSURE TO ELECTRIC OR MAGNETIC FIELDS
IN THE LOW AND INTERMEDIATE FREQUENCY RANGE –
METHODS FOR CALCULATING THE CURRENT DENSITY
AND INTERNAL ELECTRIC FIELD INDUCED IN THE HUMAN BODY –****Part 2-1: Exposure to magnetic fields –
2D models**

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 62226-2-1 has been prepared by IEC technical committee 106: Methods for the assessment of electric, magnetic and electromagnetic fields associated with human exposure.

This Part 2-1 is intended to be used in conjunction with the first edition of IEC 62226-1:2004, *Exposure to electric or magnetic fields in the low and intermediate frequency range – Methods for calculating the current density and internal electric field induced in the human body – Part 1: General*.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
106/79/FDIS	106/83/RVD

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

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

La présente Norme internationale constitue la Partie 2-1 de la série CEI 62226, qui regroupera un certain nombre de normes internationales et rapports techniques dans le domaine du calcul des densités de courant induit et des champs électriques internes induits et sera publiée sous le titre général *Exposition aux champs électriques ou magnétiques à basse et moyenne fréquence – Méthodes de calcul des densités de courant induit et des champs électriques induits dans le corps humain*

Il est prévu de publier cette série selon la structure suivante:

- Partie 1: Généralités
- Partie 2: Exposition à des champs magnétiques
 - Partie 2-1: Modèles 2D
 - Partie 2-2: Modèles 3D
 - Partie 2-3: Lignes directrices pour l'utilisation pratique des facteurs de couplage
- Partie 3: Exposition à des champs électriques
 - Partie 3-1: Modèles analytiques et numériques 2D
 - Partie 3-2: Modèles numériques 3D
- Partie 4: Paramètres électriques des tissus humains vivants (Rapport technique)

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.

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

FDIS	Report on voting
106/79/FDIS	106/83/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.

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

This International Standard constitutes Part 2-1 of IEC 62226 series, which will regroup several international standards and technical reports within the framework of the calculation of induced current densities and internal electric fields, and will be published under the general title of *Exposure to electric or magnetic fields in the low and intermediate frequency range – Methods for calculating the current density and internal electric field induced in the human body*.

This series is planned to be published according to the following structure:

- Part 1: General
- Part 2: Exposure to magnetic fields
 - Part 2-1 : 2D models
 - Part 2-2 : 3D models
 - Part 2-3 : Guidelines for practical use of coupling factors
- Part 3: Exposure to electric fields
 - Part 3-1: Analytical and 2D numerical models
 - Part 3-2: 3D numerical models
- Part 4: Electrical parameters of human living tissues (Technical Report)

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.

INTRODUCTION

L'intérêt que porte le public à l'exposition aux champs électriques et magnétiques a conduit les organisations internationales et nationales à proposer des limites fondées sur leurs effets néfastes avérés.

La présente norme s'applique à la gamme de fréquences pour laquelle les limites d'exposition sont fondées sur des tensions ou des courants induits dans le corps humain, quand il est exposé aux champs électriques et magnétiques. Cette gamme de fréquences couvre les fréquences basses et intermédiaires jusqu'à 100 kHz. Certaines méthodes décrites dans la présente norme peuvent être utilisées à des fréquences plus élevées sous des conditions spécifiques.

Les limites d'exposition fondées sur l'expérimentation biologique et médicale à propos de ces phénomènes d'induction fondamentaux sont usuellement appelées «restrictions de base». Elles incluent des facteurs de sécurité.

Les quantités électriques induites n'étant pas directement mesurables, des limites dérivées sont aussi proposées. Ces limites, appelées «niveaux de référence» sont données en termes de champs électriques et magnétiques externes. Elles sont fondées sur des modèles très simples de couplage entre les champs externes et le corps. Ces limites dérivées sont conservatrices.

Des modèles sophistiqués de calcul des courants induits dans le corps ont été utilisés et font l'objet de nombreuses publications scientifiques. Ils utilisent des codes numériques de calcul 3D pour le champ électromagnétique et des modèles détaillés de la structure interne du corps avec les caractéristiques électriques spécifiques des tissus du corps humain. Cependant, le développement de tels modèles est toujours en cours; les données de conductivité électrique disponibles actuellement sont encore très imparfaites, et la résolution spatiale des modèles progresse toujours. De tels modèles sont ainsi considérés comme relevant encore du domaine de la recherche scientifique et on ne peut envisager que les résultats tirés de ces modèles soient définitivement fixés dans des normes. Cependant, il est admis que de tels modèles peuvent apporter, et apportent, une contribution utile au processus de normalisation, particulièrement pour les normes de produit où des cas particuliers d'exposition sont étudiés. Quand des résultats de tels modèles sont utilisés dans des normes, il convient qu'ils soient revus périodiquement pour s'assurer qu'ils reflètent toujours l'état actuel de la connaissance scientifique.

INTRODUCTION

Public interest concerning human exposure to electric and magnetic fields has led international and national organisations to propose limits based on recognised adverse effects.

This standard applies to the frequency range for which the exposure limits are based on the induction of voltages or currents in the human body, when exposed to electric and magnetic fields. This frequency range covers the low and intermediate frequencies, up to 100 kHz. Some methods described in this standard can be used at higher frequencies under specific conditions.

The exposure limits based on biological and medical experimentation about these fundamental induction phenomena are usually called “basic restrictions”. They include safety factors.

The induced electrical quantities are not directly measurable, so simplified derived limits are also proposed. These limits, called “reference levels”, are given in terms of external electric and magnetic fields. They are based on very simple models of coupling between external fields and the body. These derived limits are conservative.

Sophisticated models for calculating induced currents in the body have been used and are the subject of a number of scientific publications. These use numerical 3D electromagnetic field computation codes and detailed models of the internal structure with specific electrical characteristics of each tissue within the body. However such models are still developing; the electrical conductivity data available at present has considerable shortcomings; and the spatial resolution of models is still advancing. Such models are therefore still considered to be in the field of scientific research and at present it is not considered that the results obtained from such models should be fixed indefinitely within standards. However it is recognised that such models can and do make a useful contribution to the standardisation process, specially for product standards where particular cases of exposure are considered. When results from such models are used in standards, the results should be reviewed from time to time to ensure they continue to reflect the current status of the science.

EXPOSITION AUX CHAMPS ÉLECTRIQUES OU MAGNÉTIQUES À BASSE ET MOYENNE FRÉQUENCE – MÉTHODES DE CALCUL DES DENSITÉS DE COURANT INDUIT ET DES CHAMPS ÉLECTRIQUES INDUITS DANS LE CORPS HUMAIN –

Partie 2-1: Exposition à des champs magnétiques – Modèles 2D

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 62226 introduit le facteur de couplage K , pour permettre l'évaluation de l'exposition dans des situations d'expositions complexes, telles que les champs magnétiques non uniformes ou les champs électriques perturbés. Le facteur de couplage K peut avoir différentes interprétations physiques selon qu'il se réfère à l'exposition à un champ électrique ou un champ magnétique.

L'objet de cette partie est de définir plus en détail ce facteur de couplage K , pour les cas de modèles simples de corps humain, exposé à des champs magnétiques non uniformes. Dans le cas présent, il est appelé «facteur de couplage pour champ magnétique non uniforme».

Tous les calculs ci-après utilisent l'approximation des basses fréquences dans laquelle les courants de déplacements sont négligés. Cette approximation a été validée dans la gamme des basses fréquences et dans le corps humain pour lequel $\varepsilon\omega \ll \sigma$.

Pour les fréquences supérieures à quelques kHz, il convient que le rapport de la conductivité et de la permittivité soit calculé afin de valider cette hypothèse.

2 Modèles analytiques

2.1 Généralités

Dans les guides traitant de l'exposition du corps humain aux champs magnétiques jusqu'à environ 100 kHz, les restrictions de base sont généralement exprimées en termes de densité de courant induit ou de champ électrique interne. Ces quantités électriques ne peuvent pas être mesurées directement et l'objet de ce document est de donner des méthodes et outils pour évaluer ces quantités à partir du champ magnétique externe.

La densité de courant induit J et le champ électrique interne E_i sont liés étroitement par la relation simple:

$$J = \sigma E_i \quad (1)$$

où σ est la conductivité des tissus vivants.

Pour simplifier, le contenu de cette norme est présenté en termes de densité de courant induit J , à partir de laquelle les valeurs du champ électrique interne peuvent être aisément déduites en utilisant l'équation précédente.

**EXPOSURE TO ELECTRIC OR MAGNETIC FIELDS
IN THE LOW AND INTERMEDIATE FREQUENCY RANGE –
METHODS FOR CALCULATING THE CURRENT DENSITY
AND INTERNAL ELECTRIC FIELD INDUCED IN THE HUMAN BODY –**

**Part 2-1: Exposure to magnetic fields –
2D models**

1 Scope

This part of IEC 62226 introduces the coupling factor K , to enable exposure assessment for complex exposure situations, such as non-uniform magnetic field or perturbed electric field. The coupling factor K has different physical interpretations depending on whether it relates to electric or magnetic field exposure.

The aim of this part is to define in more detail this coupling factor K , for the case of simple models of the human body, exposed to non-uniform magnetic fields. It is thus called “coupling factor for non-uniform magnetic field”.

All the calculations developed in this document use the low frequency approximation in which displacement currents are neglected. This approximation has been validated in the low frequency range in the human body where parameter $\varepsilon\omega \ll \sigma$.

For frequencies up to a few kHz, the ratio of conductivity and permittivity should be calculated to validate this hypothesis.

2 Analytical models

2.1 General

Basic restrictions in guidelines on human exposure to magnetic fields up to about 100 kHz are generally expressed in terms of induced current density or internal electric field. These electrical quantities cannot be measured directly and the purpose of this document is to give methods and tools on how to assess these quantities from the external magnetic field.

The induced current density J and the internal electric field E_i are closely linked by the simple relation:

$$J = \sigma E_i \quad (1)$$

where σ is the conductivity of living tissues.

For simplicity, the content of this standard is presented in terms of induced current densities J , from which values of the internal electric field can be easily derived using the previous formula.