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 crée 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 (2nd 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 *(source: 1 wire, located at d = 10 mm from the edge of the disk)*....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 $\varepsilon\omega << \sigma$.

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.

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 $\varepsilon\omega << \sigma$.

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