

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

AMENDMENT 1 AMENDEMENT 1

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 3-1: Exposure to electric fields – Analytical and 2D numerical models

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 3-1: Exposition à des champs électriques – Modèles analytiques et numériques 2D





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
Fax: +41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 15 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

65 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

IEC Customer Service Centre - 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: csc@iec.ch.

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.

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

Recherche de publications IEC - www.iec.ch/searchpub

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

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 15 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

65 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: csc@iec.ch.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

AMENDMENT 1 AMENDEMENT 1

**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 3-1: Exposure to electric fields – Analytical and 2D numerical models**

**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 3-1: Exposition à des champs électriques – Modèles analytiques et numériques 2D**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 17.220.20

ISBN 978-2-8322-3666-6

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

FOREWORD

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

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

FDIS	Report on voting
106/376/FDIS	106/378/RVD

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

The committee has decided that the contents of this amendment and the base publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website 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.

2 Exposure to electric field

Replace the fifth paragraph with the following new paragraph:

Although some guidelines on human exposure to electric fields adopt internal electric field as a limiting parameter, for reason of simplification, the content of this standard is presented mainly in terms of induced current densities J , from which values of internal electric field E_i can be easily derived using the previous formula.

3 General procedure

3.1 Shape factor

Add the following note at the end of this subclause:

NOTE The internal electric field E_i can be calculated from the current density J as $E_i = J/\sigma$, where σ is the conductivity of the human model (see equation (1)).

3.2 Procedure

Replace the third paragraph with the following new paragraph:

The third stage is to convert the current density averaged at a particular height to the local current density in the different tissues at that height. Health guidelines on exposure to EMF refer specifically to current density (or internal electric field) in the central nervous system, so

the particular area of interest within the body is the spinal cord in the neck, due to the small cross section of the neck, which concentrates the current (or internal electric field) in that region.

5.2.1 Analytical

Replace the paragraph immediately above Figure 8 with the following new paragraph and note:

Figure 9 gives the result of the analytical calculation of the local current density J_s , for a field magnitude of 1 kV/m at 50 Hz.

NOTE The internal electric field E_i can be calculated from the current density J as $E_i = J/\sigma$, where σ is the conductivity of the human model.

Replace the title of Figure 8 with the following new title:

Figure 8 – Calculation of the shape factor for electric field K_E for a spheroid exposed to an unperturbed electric field

5.3.1 Analytical

Replace Table 4 with the following new paragraph and table:

For the basic restrictions in terms of internal electric fields, i.e. E_{iBR} : 20 mV/m (public) and 100 mV/m (occupational), the external electric field E_{BR} required to produce an internal electric field equal to the basic restriction E_{iBR} is found by the following relation:

$$E_{BR} = \frac{\sigma E_{iBR}}{J_A(\text{neck})}$$

where σ is the conductivity of the human model.

Table 4 – Electric field E_{BR} required to produce basic restrictions J_{BR} or E_{iBR} in the neck at 50 Hz

	Reference man	Reference woman
J_A , current density in neck per kV/m, mA/m ²	0,244	0,286
Circumference at base of neck, m	0,425	0,368
E_{BR} , electric field for a 2 mA/m ² basic restriction in the neck, kV/m	8,2	7,0
E_{BR} , electric field for a 10 mA/m ² basic restriction in the neck, kV/m	41	35
E_{BR} , electric field for a 20 mV/m basic restriction in the neck, kV/m ($\sigma = 0,2$ S/m assumed)	16,4	14,0
E_{BR} , electric field for a 100 mV/m basic restriction in the neck, kV/m ($\sigma = 0,2$ S/m assumed)	82	70

5.4 Comparison of the analytical and numerical models

Replace Table 5 with the following new table:

Table 5 – Comparison of values of the shape factor for electric field K_E and corresponding current densities for an unperturbed 50 Hz electric field of 1 kV/m

	Reference man	Reference woman	Reference 10 year old child	5 kV (50 Hz) – 2 mA/m ² ^a	5 kV (50 Hz) – 20 mV/m ($\sigma = 0,2$ S/m) ^a
K_{EZ} analytical A·s/V·m	$4,88 \times 10^{-9}$	$5,72 \times 10^{-9}$	$5,16 \times 10^{-9}$	8×10^{-9}	$1,6 \times 10^{-8}$
K_{EZ} numerical A·s/V·m	$4,66 \times 10^{-9}$	$5,94 \times 10^{-9}$	$4,98 \times 10^{-9}$		
$J_{A \max.}$ analytical mA/m ²	0,244	0,286	0,258	0,40	0,80
$J_{A \max.}$ numerical mA/m ²	0,233	0,297	0,249		
^a It is assumed that unperturbed electric field of 5 kV/m corresponds, at 50 Hz, to 2 mA/m ² for induced current density, and 20 mV/m ($\sigma = 0,2$ S/m assumed) for internal electric field as conservative values. The corresponding value for K_E is calculated using equation (2).					

6.3 Influence of conductivity

Add the following note to the end of the subclause:

NOTE The internal electric field E_i is dependent on the conductivity since it is calculated from the current density J as $E_i = J/\sigma$, where σ is the conductivity of the human model.

7.2 Current flowing to the ground

Replace the first sentence with the following new sentence:

The current flowing into the ground can be found from the product of the current density J_S and the cross sectional area of the spheroid at ground level.

Annex A (normative)

Analytical solutions for a spheroid in a uniform electric field

Add the following note to the end of the annex:

NOTE The internal electric field E_{iSZ} can be calculated from the current density J_{SZ} as $E_{iSZ} = J_{SZ}/\sigma$, where σ is the conductivity of the human model.

Annex D (informative)

Example of use of this standard

D.2 Example on an individual

Replace the last three paragraphs as follows:

Calculate the electric field that corresponds to a chosen current density:

The electric field E_{BR} corresponding to a basic restriction current density J_{BR} of, for example, 2 mA/m² can be found using

$$E_{BR} = J_{BR} / J_{A1(neck)}$$

where $J_{A1(neck)}$ is the current density in the neck of the axisymmetric model for an electric field of 1 kV/m.

For our illustration, $J_{A1(neck)}$ is $0,923/3,5 = 0,264$ mA/m² per kV/m and $E_{BR} = 7,6$ kV/m.

For the basic restrictions in terms of internal electric field, an E_{iBR} of, for example, 20 mV/m can be found using

$$E_{BR} = \sigma E_{iBR} / J_{A1(neck)}$$

where σ is the conductivity of the human model. For such a case, $E_{BR} = 15,2$ kV/m.

Bibliography

Add the following new reference:

- [63] ICNIRP, *Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz)*, ICNIRP Guidelines, 2010

AVANT-PROPOS

Le présent amendement a été établi par le comité d'études 106 de l'IEC: Méthodes d'évaluation des champs électriques, magnétiques et électromagnétiques en relation avec l'exposition humaine.

Le texte de cet amendement est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
106/376/FDIS	106/378/RVD

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

Le comité a décidé que le contenu de cet amendement et de la publication de base 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 à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

2 Exposition au champ électrique

Remplacer le cinquième alinéa par le nouvel alinéa suivant:

Bien que certains guides traitant de l'exposition du corps humain aux champs électriques adoptent le champ électrique interne comme un paramètre limite, le contenu de la présente norme, dans un souci de simplification, est présenté principalement en termes de densités de courant induit J , à partir desquelles les valeurs du champ électrique interne E_i peuvent être aisément déduites en utilisant l'équation donnée ci-dessus.

3 Procédure générale

3.1 Facteur de forme

Ajouter la note suivante à la fin de ce paragraphe:

NOTE Le champ électrique interne E_i peut être calculé à partir de la densité de courant J à savoir $E_i = J/\sigma$, où σ est la conductivité du modèle du corps humain (voir équation (1)).

3.2 Procédure

Remplacer le troisième alinéa par le nouvel alinéa suivant:

La troisième étape consiste à convertir la densité de courant moyennée à une hauteur particulière en une densité de courant locale dans les différents tissus à cette hauteur. Les guides de santé qui traitent de l'exposition aux champs électromagnétiques font spécifiquement référence à la densité de courant (ou au champ électrique interne) dans le système nerveux central, ainsi la zone du corps qui présente un intérêt particulier est la moelle épinière au niveau du cou, à cause de la faible section de celui-ci, qui concentre le courant (ou le champ électrique interne) dans cette région du corps.

5.2.1 Analytique

Remplacer l'alinéa immédiatement avant la Figure 8 par l'alinéa et la note suivants:

La Figure 9 donne le résultat du calcul analytique de la densité de courant local J_s pour une amplitude de champ de 1 kV/m à 50 Hz.

NOTE Le champ électrique interne E_i peut être calculé à partir de la densité de courant J à savoir $E_i = J/\sigma$, où σ est la conductivité du modèle du corps humain.

Remplacer le titre de la Figure 8 par le nouveau titre suivant:

Figure 8 – Calcul du facteur de forme pour le champ électrique K_E pour un sphéroïde exposé à un champ électrique non perturbé

5.3.1 Analytique

Remplacer le Tableau 4 par le nouvel alinéa et le tableau suivants:

Pour les restrictions de base en termes de champs électriques internes, c'est-à-dire E_{iBR} : 20 mV/m (public) et 100 mV/m (travailleurs), le champ électrique externe E_{BR} nécessaire pour produire un champ électrique interne égal à la restriction de base E_{iBR} est obtenu avec la relation suivante.

$$E_{BR} = \sigma E_{iBR} / J_A(\text{cou})$$

où σ est la conductivité du modèle du corps humain.

Tableau 4 – Champ électrique E_{BR} nécessaire pour produire les restrictions de base J_{BR} ou E_{iBR} dans le cou à 50 Hz

	Homme de référence	Femme de référence
J_A , densité de courant dans le cou par kV/m, mA/m ²	0,244	0,286
Circonférence à la base du cou, m	0,425	0,368
E_{BR} , champ électrique pour la restriction de base de 2 mA/m ² dans le cou, kV/m	8,2	7,0
E_{BR} , champ électrique pour la restriction de base de 10 mA/m ² dans le cou, kV/m	41	35
E_{BR} , champ électrique pour la restriction de base de 20 mV/m dans le cou, kV/m ($\sigma = 0,2$ S/m par hypothèse)	16,4	14,0
E_{BR} , champ électrique pour la restriction de base de 100 mV/m dans le cou, kV/m ($\sigma = 0,2$ S/m par hypothèse)	82	70

5.4 Comparaison entre les modèles analytique et numérique

Remplacer le Tableau 5 par le nouveau tableau suivant:

Tableau 5 – Comparaison des valeurs du facteur de forme pour le champ électrique K_E et des densités de courant correspondantes pour un champ électrique 50 Hz non perturbé de 1 kV/m

	Homme de référence	Femme de référence	Enfant de 10 ans de référence	5 kV (50 Hz) – 2 mA/m ² ^a	5 kV (50 Hz) – 20 mV/m ($\sigma = 0,2$ S/m) ^a
K_{EZ} analytique A·s/V·m	$4,88 \times 10^{-9}$	$5,72 \times 10^{-9}$	$5,16 \times 10^{-9}$	8×10^{-9}	$1,6 \times 10^{-8}$
K_{EZ} numérique A·s/V·m	$4,66 \times 10^{-9}$	$5,94 \times 10^{-9}$	$4,98 \times 10^{-9}$		
$J_{A \text{ max.}}$ analytique mA/m ²	0,244	0,286	0,258	0,40	0,80
$J_{A \text{ max.}}$ numérique mA/m ²	0,233	0,297	0,249		
^a Par hypothèse, le champ électrique non perturbé de 5 kV/m correspond, à 50 Hz, à 2 mA/m ² pour la densité de courant induit, et 20 mV/m ($\sigma = 0,2$ S/m par hypothèse) pour le champ électrique interne comme valeurs conservatives. La valeur correspondante pour K_E est calculée en utilisant l'équation (2).					

6.3 Influence de la conductivité

Ajouter la note suivante à la fin du paragraphe:

NOTE Le champ électrique interne E_i dépend de la conductivité dans la mesure où il est calculé à partir de la densité de courant J comme $E_i = J/\sigma$, où σ est la conductivité du modèle du corps humain.

7.2 Courant circulant vers le sol

Remplacer la première phrase par la nouvelle phrase suivante:

Le courant circulant vers le sol peut être déterminé comme étant le produit de la densité du courant J_S et de la surface de la section du sphéroïde au niveau du sol.

Annexe A (normative)

Solutions analytiques pour un sphéroïde dans un champ électrique uniforme

Ajouter la note suivante à la fin de l'annexe:

NOTE Le champ électrique interne E_{iSZ} peut être calculé à partir de la densité de courant J_{SZ} à savoir $E_{iSZ} = J_{SZ} / \sigma$ où σ est la conductivité du modèle du corps humain.

Annexe D (informative)

Exemple d'utilisation de cette norme

D.2 Exemple sur un individu

Remplacer les trois derniers alinéas comme suit:

Calculer le champ électrique qui correspond à la densité de courant choisie:

Le champ électrique E_{BR} correspondant à la restriction de base de la densité de courant J_{BR} de, par exemple, 2 mA/m² peut être trouvé en utilisant

$$E_{BR} = J_{BR} / J_{A1(cou)}$$

où $J_{A1(cou)}$ est la densité de courant dans le cou du modèle axisymétrique pour un champ électrique de 1 kV/m.

Pour notre illustration, $J_{A1(cou)}$ est 0,923/3,5 = 0,264 mA/m² par kV/m et $E_{BR} = 7,6$ kV/m.

Pour les restrictions de base en termes de champ électrique interne une valeur E_{iBR} de, par exemple, 20 mV/m peut être trouvée en utilisant l'équation

$$E_{BR} = \sigma E_{iBR} / J_{A1(cou)}$$

où σ est la conductivité du modèle du corps humain. Dans un tel cas, $E_{BR} = 15,2$ kV/m.

Bibliographie

Ajouter la nouvelle référence suivante:

- [63] ICNIRP, *Guide for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz)*, ICNIRP Guidelines, 2010 (disponible en anglais seulement)