

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Electric and magnetic field levels generated by AC power systems –
Measurement procedures with regard to public exposure**

**Champs électriques et magnétiques générés par les systèmes d'alimentation à
courant alternatif – Procédures de mesure des niveaux d'exposition du public**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62110:2009



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2009 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

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

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

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

A propos des publications CEI

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

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

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

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Electric and magnetic field levels generated by AC power systems –
Measurement procedures with regard to public exposure**

**Champs électriques et magnétiques générés par les systèmes d'alimentation à
courant alternatif – Procédures de mesure des niveaux d'exposition du public**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

XA

ICS 17.220.20; 29.240

ISBN 2-8318-1059-3

CONTENTS

FOREWORD.....	5
INTRODUCTION.....	7
1 Scope	8
2 Normative reference	8
3 Terms and definitions	8
4 Measurement principle for electric and magnetic fields	9
4.1 General	9
4.2 Instruments	9
4.3 Harmonic content	10
4.4 Record of measurement result	10
4.5 Measurement considerations	11
4.5.1 Field orientation	11
4.5.2 Measurement locations	12
4.5.3 Perturbing effects of an operator in electric field measurement.....	12
4.5.4 Effects from other sources in magnetic field measurement.....	12
4.5.5 Humidity condition in electric field measurement.....	12
5 Fundamental measurement procedures for electric and magnetic fields	12
5.1 General procedure.....	12
5.2 Single-point measurement	13
5.3 Three-point measurement.....	13
5.4 Five-point measurement	14
6 Measurement procedures for finding the maximum exposure level to an electric field.....	15
6.1 Overhead lines	15
6.2 Underground cables	15
6.3 Substations and power system equipment.....	15
7 Measurement procedures for finding the maximum exposure level to a magnetic field.....	16
7.1 Overhead lines.....	16
7.2 Underground cables	16
7.3 Substations and power system equipment.....	16
Annex A (informative) Characteristics of electric fields generated by AC overhead lines	18
Annex B (informative) Characteristics of magnetic fields generated by AC power systems.....	30
Annex C (informative) Concept of the <i>three-point measurement</i> with regard to the <i>average exposure level</i>	42
Annex D (informative) Example of a reporting form for field measurement.....	47
Bibliography	50
Figure 1 – Heights of <i>the three-point measurement</i>	13
Figure 2 – Five-point measurement	14
Figure A.1 – Linear charge distribution above ground	19
Figure A.2 – General <i>n</i> -phase system with ground	20
Figure A.3 – Electric field levels under an overhead transmission line	22

Figure A.4 – Electric field levels under an overhead transmission line with bundled conductors.....	22
Figure A.5 – Electric field levels and non-uniformity under a 77 kV overhead transmission line – Effect of heights of conductors.....	24
Figure A.6 – Electric field levels and non-uniformity under a 500 kV overhead transmission line – Effects of the heights of conductors	25
Figure A.7 – Electric field levels under a 77 kV overhead transmission line – Effect of separation between conductors	26
Figure A.8 – Electric field levels and non-uniformity under a 500 kV overhead transmission line – Effect of separation between conductors.....	27
Figure A.9 – Vertical and horizontal components of electric field levels under a 77 kV overhead transmission line.....	27
Figure A.10 – Vertical and horizontal components of electric field levels under a 500 kV overhead transmission line	28
Figure A.11 – Electric field contour of a 25 kV overhead line.....	28
Figure A.12 – Electric field profile along the wall of a building and at 1 m above ground level	29
Figure B.1 – Magnetic field levels under a 77 kV overhead transmission line.....	32
Figure B.2 – Magnetic field levels under a 500 kV overhead transmission line	33
Figure B.3 – Magnetic field levels and non-uniformity under a 77 kV overhead transmission line – Effect of heights of conductors.....	34
Figure B.4 – Magnetic field levels and non-uniformity under a 500 kV overhead transmission line – Effect of heights of conductors.....	35
Figure B.5 – Magnetic field levels and non-uniformity under a 77 kV overhead transmission line – Effect of separation between conductors.....	36
Figure B.6 – Magnetic field levels under a 500 kV overhead transmission line – Effect of separation between conductors	37
Figure B.7 – Values of semi-major and semi-minor components (r.m.s.) of magnetic field levels under a 77 kV overhead transmission line	38
Figure B.8 – Values of semi-major and semi-minor components (r.m.s.) of magnetic field levels under a 500 kV overhead transmission line	38
Figure B.9 – Magnetic field levels and non-uniformity under an overhead distribution line (6 600 V / 100 V).....	39
Figure B.10 – Magnetic field levels and non-uniformity above underground cables – Effect of buried depth.....	40
Figure B.11 – Magnetic field levels and non-uniformity above underground cables – Effect of separation between conductors	40
Figure B.12 – Measured magnetic field levels and non-uniformity around a 6 600 V pad-mounted transformer.....	41
Figure B.13 – Measured magnetic field levels and non-uniformity around 6 600 V vertical cables	41
Figure C.1 – A spheroidal human model	42
Figure C.2 – The model in the magnetic field generated by a straight cable.....	43
Figure C.3 – Magnetic field levels generated by a straight cable	43
Figure C.4 – The model in the magnetic field generated by three parallel cables	44
Figure C.5 – Magnetic field levels generated by three balanced parallel cables	44
Figure C.6 – The model in the magnetic field generated by underground cables	45
Figure C.7 – Magnetic field levels generated by underground cables.....	45
Figure C.8 – The model in the magnetic field generated by overhead wires.....	46

Figure C.9 – Magnetic field levels generated by balanced overhead wires.....	46
--	----

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62110:2009

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**ELECTRIC AND MAGNETIC FIELD LEVELS GENERATED BY AC POWER
SYSTEMS – MEASUREMENT PROCEDURES
WITH REGARD TO PUBLIC EXPOSURE**

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 62110 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 standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
106/177/FDIS	106/185/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.

Terms defined in Clause 3 appear in *italics* throughout the document.

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.

The contents of the corrigendum of January 2015 have been included in this copy.

IMPORTANT – The “colour inside” logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this publication using a colour printer.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62110:2009

INTRODUCTION

All populations of the world are now exposed to electric and magnetic fields and the levels will continue to increase with developing industry and technology. A number of countries have implemented regulations on public exposure to these fields. Therefore, in order to evaluate human exposure levels to these fields adequately, common measurement procedures are required by not only professionals of national authorities and electric power industries, but also the general public.

This standard is applied to the measurement of fields generated by AC power systems in areas accessible to the public. It establishes a common measurement procedure to evaluate the exposure levels of the human body to electric and magnetic fields among the general public.

The values obtained are for use to determine whether the fields comply with exposure limits by comparing them with the field limits for general public exposure such as the reference levels from the ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) Guidelines [1]¹⁾, MPE (maximum permissible exposure) from the IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) [2] or in national regulations. If the values obtained are higher than the reference level or MPE, it does not necessarily mean that the basic restriction has been exceeded, in which case other methods must be used to ensure that basic restriction is not exceeded.

The values obtained by using the procedures in this standard are for the load conditions occurring at the time of measurement. Therefore, in the case of magnetic field, in order to check compliance with some exposure guidelines or regulations these values may need to be extrapolated to take account of the maximum load of the circuits.

This standard is not applicable to occupational exposure associated with, for example, the operation and/or maintenance of the power systems. Such exposure may occur when working inside a distribution or transmission substation, a power plant, in a manhole or a tunnel for underground cables, or on an overhead line tower or pole.

¹⁾ Numbers in square brackets refers to the Bibliography.

ELECTRIC AND MAGNETIC FIELD LEVELS GENERATED BY AC POWER SYSTEMS – MEASUREMENT PROCEDURES WITH REGARD TO PUBLIC EXPOSURE

1 Scope

This International Standard establishes measurement procedures for electric and magnetic field levels generated by AC power systems to evaluate the exposure levels of the human body to these fields. This standard is not applicable to DC power transmission systems.

This International Standard is applicable to public exposure in the domestic environment and in areas accessible to the public.

This standard specifies fundamental procedures for the measurement of fields, and, with regard to human exposure, for obtaining a field value that corresponds to a spatial average over the entire human body.

This standard is not applicable to occupational exposure associated with, for example, the operation and/or maintenance of the power systems. Such exposure may occur when working inside a distribution or transmission substation, a power plant, in a manhole or a tunnel for underground cables, or on an overhead line tower or pole.

2 Normative references

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

IEC 61786, *Measurement of low-frequency magnetic and electric fields with regard to exposure of human beings – Special requirements for instruments and guidance for measurements*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions given below apply. Internationally accepted SI-units are used throughout the standard.

NOTE The distinction between “magnetic flux density” and “magnetic field strength” is only relevant when considering magnetic fields in magnetic materials. In air it is common to use “magnetic fields” as a generic term to cover both of these two quantities.

3.1

single-point measurement

procedure to measure the field level at a specified height, used for uniform fields

NOTE The conditions under which the field can be considered as uniform or non-uniform are given in section 5.1.

3.2

three-point measurement

procedure to measure the field levels at three specified heights at a single location, used for non-uniform fields

3.3**five-point measurement**

procedure to measure the field levels at five points at a specified height, used for non-uniform fields generated by field sources below the floor or the ground

3.4**average exposure level**

spatial average over the entire human body of fields to which the individual is exposed

3.5**three-point average exposure level**

arithmetic mean of the three values obtained from the *three-point measurement* or of the largest three values obtained from the *five-point measurement*

NOTE This arithmetic mean is used as an estimate of the *average exposure level* at a single location.

3.6**maximum exposure level**

the maximum of the single-point measurements or *average exposure levels* over the area of interest

3.7**power system**

system consisting of overhead lines and underground cables, substations and other power distribution and transmission equipment. Railway systems are covered by a specific standard and therefore are excluded from the present standard.

4 Measurement principle for electric and magnetic fields**4.1 General**

Detailed generic information and requirements regarding measurement of electric and magnetic fields are given in IEC 61786 and in other technical documents such as CIGRE technical brochures [6][8] and IEEE guides [7][9].

4.2 Instruments

Instruments for measuring electric and magnetic fields shall meet the requirements regarding calibration and specification given in IEC 61786 or another appropriate national or international standard. These instruments should be used under appropriate conditions, particularly with regard to electromagnetic immunity, temperature, and humidity, recommended by the manufacturer.

A three-axis instrument measures r.m.s. values of resultant field F_r . A single-axis instrument can be used to obtain F_r by measuring F_x , F_y , and F_z , using Equation (1).

$$F_r = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \quad (1)$$

where

F_x , F_y , and F_z are r.m.s. values of the orthogonal three-axis components of electric or magnetic fields.

When the field has no harmonics, F_r can also be obtained by measuring $F_{\max}$ and $F_{\min}$, and then using Equation (2).

$$F_r = \sqrt{F_{\max}^2 + F_{\min}^2} \quad (2)$$

where

$F_{\max}$ is the maximum r.m.s. value of the semi-major axis of the field ellipse;

$F_{\min}$ is the minimum r.m.s. value of the semi-minor axis of the field ellipse.

4.3 Harmonic content

Harmonics are generally caused by non-linear equipment. Harmonics may be present on transmission lines and on distribution lines. Generally, the total harmonic voltage distortion of AC power distribution systems (see [3][4]) is low enough to not significantly affect the exposure, and so it is normally not necessary to quantify the harmonic content. AC transmission systems have lower harmonic contents.

Where there is significant concern that the harmonic content of fields cannot be ignored, existing methods of assessing the field harmonic content should be used following IEC 61786 for measurement. The assessment of the fields taking account of the harmonic frequencies should be evaluated according to the procedure specified in the safety standard (e.g. [5]) to be applied.

4.4 Record of measurement result

In the measurement report, the following information should be recorded:

- date, time, and weather conditions (e.g. sunny, rain, snow and wind conditions) when the measurement is carried out;
- temperature and humidity (for electric field measurement);
- type (overhead line, cable, substation, etc.) and nominal voltage of the power system, configuration and phase arrangement of overhead conductors and/or underground cables that generate the measured fields, if available;
- information on instruments [instrument manufacturer, model, probe size and geometry, type of probe or meter (free-body meter, ground reference meter, fluxgate meter, coil probe, Hall effect probe), magnitude range, pass bandwidth, latest calibrated date], if available;
- estimation of the uncertainty of measurement;
NOTE 1 Measurement uncertainty can be estimated using a procedure proposed by, e.g., IEC 61786.
- person/company who performs the measurement;
- height(s) above the ground or the floor where the measurement is performed;
- measurement location related to the power systems of interest;
- measurement location in the room when the measurement is carried out in a building;
- measured field (electric or magnetic) levels;
- clear indication of what field quantity is being reported, for example, resultant field, r.m.s. values of each orthogonal three-axis component of the field or maximum or minimum r.m.s. values of the semi-major or semi-minor axis of the field;
- type, spatial position, and operating condition of other field sources near the measurement point;
- sketch and/or photograph of the measurement site with measurement location and other field sources;
- type, sort of material, dimensions and spatial position of permanent and removable objects for electric field measurement;
- type, sort of material, dimensions and spatial position of permanent and removable objects that contain magnetic materials or non-magnetic conductors for magnetic field measurement;

- current values flowing when magnetic field measurement is carried out, if possible and relevant;

NOTE 2 There might be some cases in which these load values would be difficult to obtain. Moreover, for low voltage distribution systems, the net current can be the more relevant parameter.

NOTE 3 One possible way to survey the variation of the load is to use a second magnetic field meter at a fixed position (see [6]).

- harmonic contents, if significant.

The above information is important when the measurement results are compared with the calculated levels and/or other measurement results.

An example of a measurement report is given in Annex D.

4.5 Measurement considerations

4.5.1 Field orientation

4.5.1.1 Electric field

Electric field measurement instruments are either single-axis or three-axis. The latter is the preferred option.

The electric field adjacent to a conducting surface is normal to the surface. Therefore, the horizontal component of the electric field, particularly where it is generated by overhead lines, can be ignored close to the ground surface. Single-axis measurement (vertical component) is therefore sufficient near the ground. Some examples of calculated electric field levels at a height of 1,0 m above the ground under overhead lines are shown in A.3.3. These demonstrate that at 1,0 m above the ground, the vertical component is similar to the resultant (see Figures A.9 and A.10).

Particular care must be taken in the presence of conducting objects (see 4.5.2.1) or when the clearance of the conductor from the ground is small.

4.5.1.2 Magnetic field

Magnetic field measurements should be made with three-axis instruments and should be of the resultant field, except where there is a particular reason for using single-axis instruments. Reasons for using single-axis instruments include the desire to know the direction of the field and the maximum r.m.s. value of the semi-major axis of the field ellipse, the wish to investigate the orientation and shape of the magnetic field ellipse, and cases when the direction of a linearly polarised field is already known; however, these are not covered by this standard.

When a suitable three-axis instrument is not available, a single-axis instrument may be used to determine the resultant field using Equation (1) or Equation (2), provided that the field level remains stable during the time taken to perform the measurements. In this case, use of a fixture made from non-conducting materials for orienting the probe in three orthogonal directions will expedite the measurement process.

NOTE Three-axis instruments often measure the three components sequentially which should be taken into account when field is changing.

Generally, the r.m.s. value of the semi-minor axis of the field ellipse under transmission lines is significantly smaller than that of the semi-major axis. Single-axis instruments may be used in such a case (see B.3.3).

4.5.2 Measurement locations

4.5.2.1 Electric field

In order to take electric field level measurements representing the unperturbed field at a given location, the area should be free as far as possible from other power lines, towers, trees, fences, tall grass, or other irregularities. It is preferred that the location should be relatively flat. It should be noted that the influence of vegetation on the electric field level can be significant. In general, field enhancement occurs above individual items of vegetation and field attenuation occurs near the sides. Field perturbation can depend markedly on the water content in the vegetation.

All movable objects should be removed when possible. If not, then the distance between the probe and the object should be more than three times the height of the object (non-permanent object) or 1,0 m (permanent object) [6].

If these recommendations cannot be fulfilled, it should be clearly noted on the measurement report.

4.5.2.2 Magnetic field

Non-permanent objects containing magnetic materials or nonmagnetic conductors should be at least three times the largest dimensions of the object away from the point of measurement in order to measure the unperturbed field value. The distance between the probe and permanent magnetic objects should not be less than 1,0 m in order to accurately measure the ambient unperturbed field [7].

If these recommendations cannot be fulfilled, it should be clearly noted on the measurement report.

4.5.3 Perturbing effects of an operator in electric field measurement

To reduce perturbation of a measured electric field, the distance between the electric field measurement instrument and the operator should be at least 1,5 m and 3 m should be recommended [6]. This can be achieved using a fibre optic cable between the monitor and the probe with the latter on a non-conductive support.

4.5.4 Effects from other sources in magnetic field measurement

Magnetic field sources other than power systems near the measurement point should be turned off or removed, if possible, to minimise their influence on the measurement result. If it is difficult to turn off or remove the sources, relevant information about them, for example, type of source, location relative to the measurement point, etc. should be recorded.

4.5.5 Humidity condition in electric field measurement

Electric field measurement may be perturbed if the relative humidity is more than 70 % due to condensation effect on the probe and support [6]. Since the effect of humidity depends on the field meter, the ability of the field meter to work correctly under those conditions should be checked before measurement.

5 Fundamental measurement procedures for electric and magnetic fields

5.1 General procedure

Different procedures are specified here that use single-, three- or five-point measurement. If the values obtained are all below the reference level or MPE, no further processing is necessary for demonstration of compliance.

When measuring field levels under overhead lines, the field near the ground is considered to be uniform (see justification in B.3.2.1); therefore, single-point measurements are sufficient. Other situations such as public areas adjacent to underground cables, indoor substations, etc. are considered to be non-uniform and three- or five- point measurement shall be used as appropriate.

5.2 Single-point measurement

Where the field is considered to be uniform, the electric or magnetic field level at the point of interest should be measured at 1,0 m above the ground or the floor in the building. This measured level is recognised as the *average exposure level* (see Annexes A and B).

If necessary, other heights may be used, in which case the actual measurement height should be explicitly recorded in the measurement report.

5.3 Three-point measurement

Where the field is considered to be non-uniform, the electric and magnetic field level at the position of interest should be measured at the three heights, 0,5 m, 1,0 m, and 1,5 m above the ground or floor level in a building. Beside power equipment or in a building, measurement should be performed at a horizontal distance of 0,2 m from its surface or boundary or a wall.

In situations where the equipment has a height less than 1,5 m, the three-point measurements must be performed at equidistant heights with the highest being at the same height as the top of the equipment (see Figure 1).

If necessary, other heights may be used, in which case the actual measurement heights should be explicitly recorded in the measurement report.

NOTE In the case where the safety standard does not allow spatial averaging (such as [2]), then the maximum of the three measured values should be used.

The *three-point average exposure level* is recognised as the *average exposure level* (see Annex C).

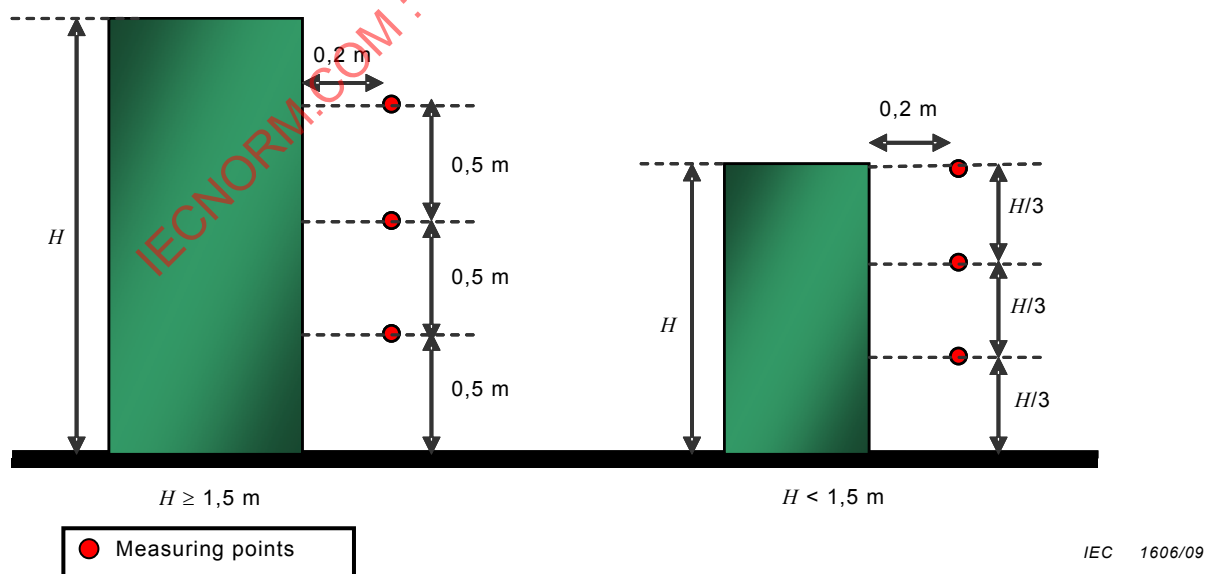


Figure 1 – Heights of the three-point measurement

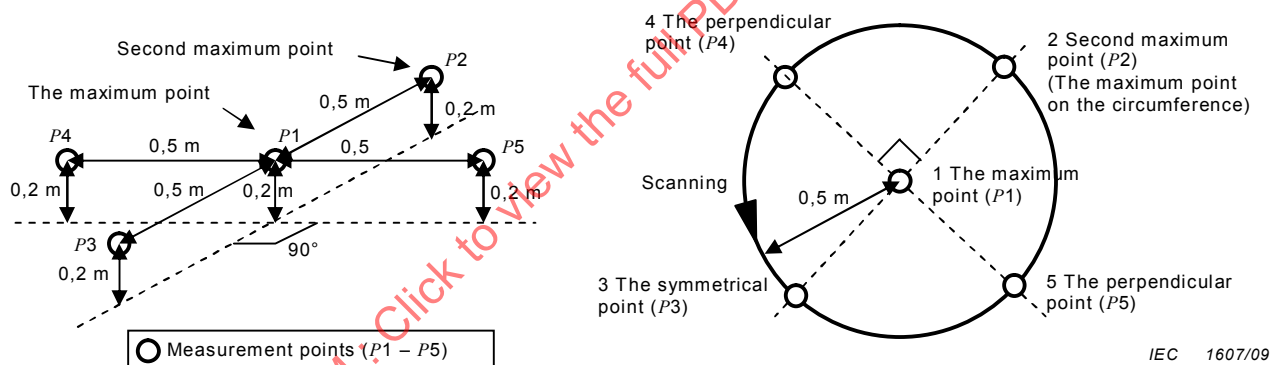
5.4 Five-point measurement

Where there are sources of field below the ground or the floor and there is a reasonable possibility that a person is likely to lie down above it, a five-point measurement should be performed as follows.

The level of magnetic field should be scanned at a height of 0,2 m above the ground or the floor to find the value and the position of the maximum field. The value and the position of the second maximum field should be scanned on a circle with a radius of 0,5 m centred on the maximum position. Another measurement should be made at the point that is symmetric to the second maximum. A further two measurements should be made, along the line perpendicular to the line passing the former three measurement points, at distances of 0,5 m on either side of the position of the maximum (see Figure 2.). The average of the largest three of the five readings shall be calculated. This average is recognised as the *average exposure level*

NOTE In practice, it may be necessary to adapt the procedure to take account of furniture that cannot be removed and walls of the room, etc..

In cases where a person is not likely to lie on the ground or the floor, the normal *three-point measurement* shall be used.



Measuring points	Measured values (index)	Adopted values
P1	10 μ T	X
P2	5 μ T	X
P3	1 μ T	
P4	2 μ T	
P5	3 μ T	X



Three-point average exposure level is;

$$\frac{(P1 + P2 + P5)}{3} = 6 \mu\text{T}$$

NOTE Dotted lines represent the floor or ground level.

Figure 2 – Five-point measurement

6 Measurement procedures for finding the maximum exposure level to an electric field

6.1 Overhead lines

The levels of electric field under an overhead line depend on many factors including distance from conductors, their separation and phase arrangement, and the voltage of the line (see Annex A).

The largest electric field level is found under conductors at the point on the span where the conductors are closest to the ground. Therefore, to find the position where the field level is the maximum, the electric field level should first be measured at 1,0 m above the ground along the path parallel to the overhead line under conductors where possible at appropriate intervals (longitudinal profile). Then, to discover whether another peak occurs, measurement should be performed at 1,0 m above the ground along the path perpendicular to the overhead line, at the point of the longitudinal profile maximum (lateral profile).

When the position where the field level is a maximum is already known in the area of interest, a *single-point measurement* should be performed at that position.

If the area of interest is not oversailed by a conductor, then the process for finding the *maximum exposure level* is similar, but the longitudinal profile should be parallel to the line.

There are some references, such as [6] and [7], which give detailed procedures for obtaining the profiles of electric field levels around an overhead line.

6.2 Underground cables

Underground cables do not produce electric fields above the ground, so measurement of electric field is not required.

6.3 Substations and power system equipment

With the exception of overhead lines (see 6.1) and substations with overhead lines connected to the substation, power system equipment does not produce electric fields in areas accessible to the public, so measurements of electric field are not required.

For substations with overhead lines connected to the substation, the level of electric field should be measured at a height of 1 m above the ground and at a distance of 0,2 m from the substation, around substations at appropriate intervals, to find the position where the field level is the maximum in the area of interest.

At the position where the maximum field level is found, a *three-point measurement* should be performed (see 5.3).

When the position of the maximum field within the area of interest is already known, a *three-point measurement* should be performed at that position.

For substations, maximum fields usually occur under overhead lines where they enter the substation. Electric field measurement under these lines should follow the procedure described in 6.1.

7 Measurement procedures for finding the maximum exposure level to a magnetic field

7.1 Overhead lines

The levels of magnetic field level under an overhead line depend on many factors including distance from conductors, their separation and phase arrangement, and the currents in the line (see Annex B).

The largest magnetic field is found under conductors at the point on the span where the conductors are closest to the ground. Therefore, to find the position at which the field level is the maximum, the magnetic field level should first be measured at 1,0 m above the ground along the path parallel to the overhead line under conductors where possible at appropriate intervals (longitudinal profile). Then, to discover whether another peak occurs, measurement should be performed at 1,0 m above the ground along the path perpendicular to the overhead line, at the point of the longitudinal profile maximum (lateral profile).

The magnetic field under an overhead line is considered to be uniform (see 5.1).

When a position where the field level would be the maximum is already known in the area of interest, a *single-point measurement* should be performed at that position.

If the area of interest is not oversailed by a conductor then the process for finding the *maximum exposure level* is similar, but the longitudinal profile should be parallel to the line.

There are some references, such as [6] and [7], which give detailed procedures for obtaining the profiles of magnetic field levels around an overhead line.

7.2 Underground cables

The level of magnetic field should be measured at a height of 1,0 m above the ground, along the path considered to be perpendicular to the underground cables, at appropriate intervals (lateral profile). At the position where the maximum field level is found, a *three-point measurement* should be performed (see 5.3).

The magnetic field is approximately constant along underground cables, except in some special locations such as a splice chamber, joint bay, or change of depth. Such locations can be found by taking measurements along the cable route, seeking the maximum at a height of 1,0 m (longitudinal profile). At the position where the maximum field level is found, the same procedure as that described above (lateral profile) should be performed.

If there are particular areas of interest, a measurement using the same procedure as described above (longitudinal and lateral profile) may be repeated.

When a position where the field level would be the maximum is already known in the area of interest, a *three-point measurement* should be performed at that position.

7.3 Substations and power system equipment

The level of magnetic field should be measured at a height of 1,0 m above the ground, around equipment or substations at a horizontal distance of 0,2 m from its surface or boundary, at appropriate intervals. In situations where the equipment has a height less than 1,5 m, the level of magnetic field should be measured at the top height of the equipment instead of 1,0 m. At the position where the maximum field level is found, a *three-point measurement* should be performed (see 5.3).

When the position of the maximum field within the area of interest is already known, a *three-point measurement* should be performed at that position.

For substations, maximum field levels usually occur under overhead lines or above underground cables where they enter the substation. Magnetic field measurement in these situations should follow the procedures described in 7.1 and 7.2, respectively.

Locally, higher magnetic field levels may be found closer to the surface of the equipment or to the boundary of the substation. However, those levels are not considered as representative of *average exposure level* of the general public in normal situations.

In cases where the area above an indoor substation is occupied and where a person is likely to lie on the floor, a *five-point measurement* should be performed (see 5.4).

In cases where a person is not likely to lie on the floor, the normal *three-point measurement* should be performed.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62110:2009

Annex A (informative)

Characteristics of electric fields generated by AC overhead lines

A.1 General

In general, it is only higher-voltage overhead lines that produce levels of electric field that need to be considered. Electric field levels are lower near lower-voltage overhead lines, distribution equipment, and around substations. Underground cables are shielded, and therefore produce no external electric field.

This annex shows examples of calculation results of spatial profiles of electric fields generated by overhead transmission and distribution lines.

A.2 General calculation procedure for electric field level

Electric field strength E at distance r from a linear conductor parallel to the ground with charge density λ is expressed as

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \frac{1}{r} \quad (\text{A.1})$$

where

ϵ_0 is permittivity of the vacuum, equal to $8,854 \times 10^{-12}$ F/m.

To take into account conductivity of the ground, the computation of E at a given point (P) can be conducted by using the image charge equivalent to $-\lambda$ at height $-h$ as shown in Figure A.1.

$$E_1 = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \frac{1}{R_1} \quad \text{and} \quad E_2 = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \frac{1}{R_2} \quad (\text{A.2})$$

where

E_1 is the electric field strength at point P caused by linear charge λ ;

E_2 is the electric field strength at point P caused by image charge $-\lambda$;

R_1 is the distance of point P from linear charge λ ;

R_2 is the distance of point P from linear charge $-\lambda$.

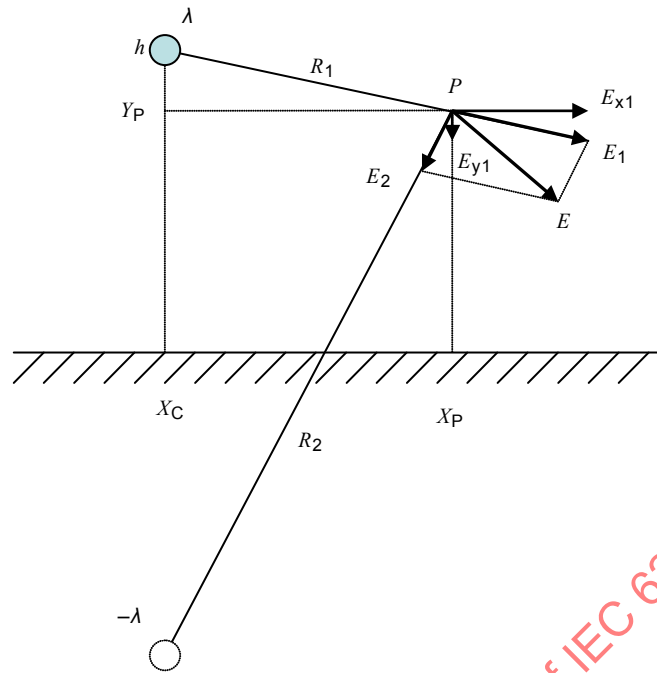
$$R_1 = \sqrt{(X_C - X_P)^2 + (h - Y_P)^2} \quad \text{and} \quad R_2 = \sqrt{(X_C - X_P)^2 + (h + Y_P)^2} \quad (\text{A.3})$$

where

Y_P is the height of point P;

X_C is the horizontal location of linear charge λ and $-\lambda$;

X_P is the horizontal location of point P.



IEC 1608/09

Figure A.1 – Linear charge distribution above ground

Field vectors E_1 and E_2 can be decomposed as orthogonal components.

$$E_{1x} = E_1 \frac{X_P - X_C}{R_1} \text{ and } E_{1y} = -E_1 \frac{h - Y_P}{R_1} \quad (\text{A.4})$$

$$E_{2x} = -E_2 \frac{X_P - X_C}{R_2} \text{ and } E_{2y} = -E_2 \frac{h + Y_P}{R_2} \quad (\text{A.5})$$

Finally, the components of field vector E are

$$E_x = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \left[\frac{X_P - X_C}{R_1^2} - \frac{X_P - X_C}{R_2^2} \right] \text{ and } E_y = -\frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \left[\frac{h - Y_P}{R_1^2} + \frac{h + Y_P}{R_2^2} \right] \quad (\text{A.6})$$

Field strength E at point P is

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} \quad (\text{A.7})$$

Potential V at the conductor surface is given by

$$V = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{2h}{a} \quad (\text{A.8})$$

Where a is the radius of the conductor.

In the case of multiple conductors as shown in Figure A.2, Equation (A.8) becomes a matrix.

$$[P][\lambda] = [V] \quad (\text{A.9})$$

Matrix $[P]$ is the potential coefficients matrix where

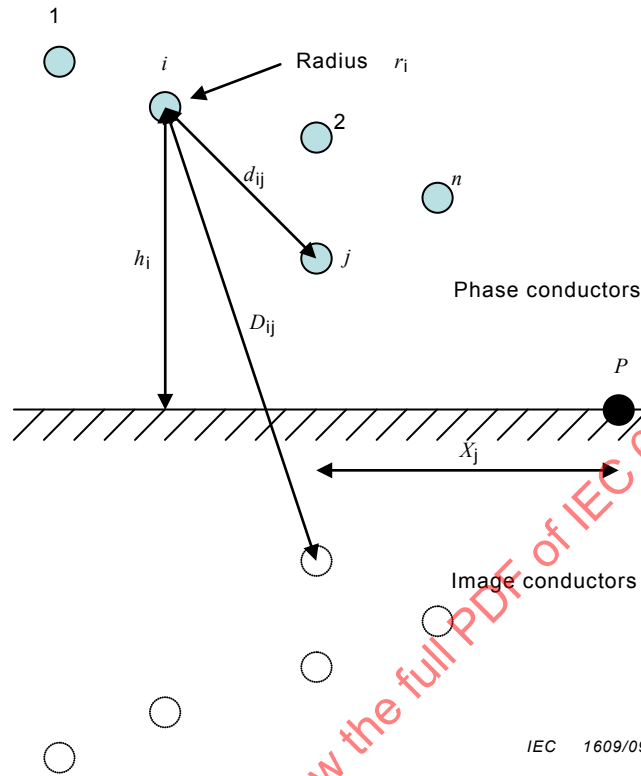


Figure A.2 – General n -phase system with ground

$$P_{ii} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln\left(\frac{2h_i}{r_i}\right) \quad \text{for } i = 1 \text{ to } n \quad (\text{A.10})$$

$$P_{ij} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln\left(\frac{D_{ij}}{d_{ij}}\right) \quad \text{for } i \neq j \quad (\text{A.11})$$

where

n is the number of conductors;

D_{ij} is the distance between conductor i and the image of the conductor j ;

d_{ij} is the distance between the conductors i and j ;

r_i is the radius of conductor i .

When calculating electric field levels under an overhead line, this linear charge distribution system can be used. For an AC power line, conductor i corresponds to each phase conductor. When phase conductor i consists of a subconductor bundle, which has the number of subconductors n_b and in which each subconductor is located at each apex of a regular polygon, r_i can be substituted by equivalent geometric radius r_{ei} (see Figure A.4).

$$r_{ei} = \left[n_b r_0 \left(\frac{S}{2\sin(\pi/n_b)} \right)^{n_b-1} \right]^{\frac{1}{n_b}} \quad (\text{A.12})$$

where

n_b is the number of subconductors,

r_0 is the subconductor radius,

S is adjacent subconductors spacing.

Charges λ_i can be determined by solving the linear system of equations (A.9).

Components E_{xi} and E_{yi} of the field vector generated by conductor i at point P are

$$E_{xi} = \frac{\lambda_i}{2\pi\epsilon_0} \left[\frac{X_p - X_{ci}}{R_{1i}^2} - \frac{X_{ci} - X_p}{R_{2i}^2} \right] \text{ and } E_{yi} = -\frac{\lambda_i}{2\pi\epsilon_0} \left[\frac{h_i - Y_p}{R_{1i}^2} + \frac{h_i + Y_p}{R_{2i}^2} \right] \quad (\text{A.13})$$

where

X_{ci} is the horizontal location of linear charge λ_i and $-\lambda_i$;

$$R_{1i} = \sqrt{(X_{ci} - X_p)^2 + (h_i - Y_p)^2} \text{ and } R_{2i} = \sqrt{(X_{ci} - X_p)^2 + (h_i + Y_p)^2} \quad (\text{A.14})$$

For the whole overhead lines, the total components at point P are

$$E_x = \sum_{i=1}^n E_{xi} \text{ and } E_y = \sum_{i=1}^n E_{yi} \quad (\text{A.15})$$

A.3 Example of electric fields generated by overhead transmission lines

A.3.1 Spatial profiles of an electric field

Figure A.3 shows an example of the spatial profile of the calculated electric field levels generated by a 77 kV overhead transmission line that has a double-circuit, vertical configuration. Each conductor has a radius of 12,65 mm. Cases of both the untransposed and the transposed phase arrangement are considered (see Figure A.3). Electric field levels are calculated as a function of distance from the centre of the conductors, at a height of 1,0 m above ground.

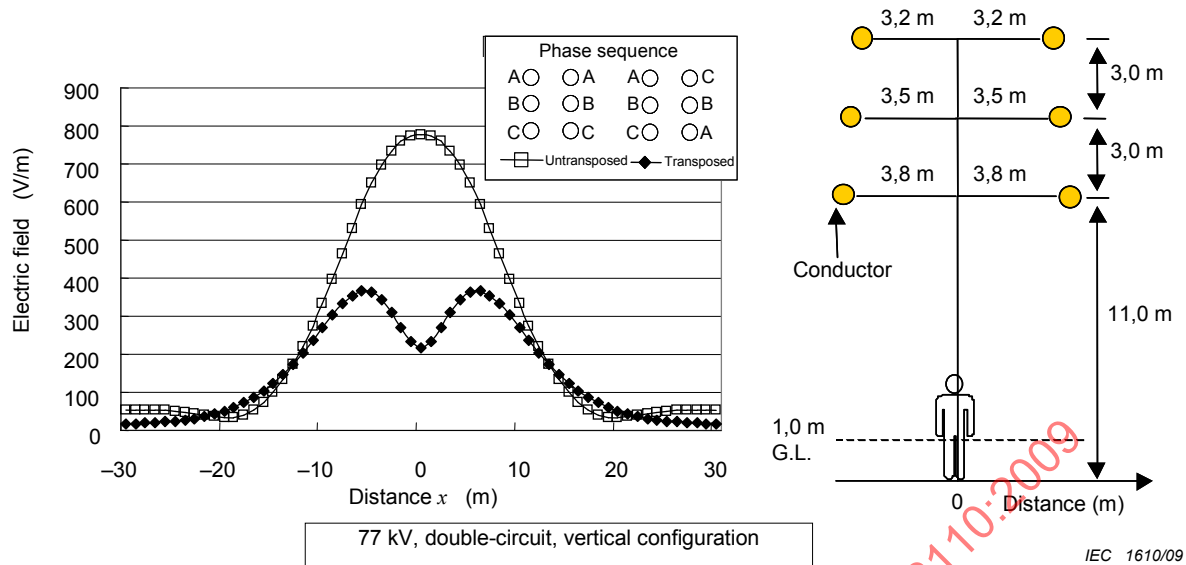


Figure A.3 – Electric field levels under an overhead transmission line

Figure A.4 shows an example of the spatial profile of the calculated electric field levels generated by a 500 kV overhead transmission line that has a single-circuit, horizontal configuration. Each conductor has a radius of 14,25 mm. Electric field levels are calculated as a function of distance from the centre of the conductors, at a height of 1,0 m above the ground. Each phase consists of four bundled conductors with radii of 14,25 mm, and the adjacent conductors spacing of 400 mm. Consequently, the equivalent geometric radius of 189,5 mm, obtained by Equation (A.4) is used for calculation.

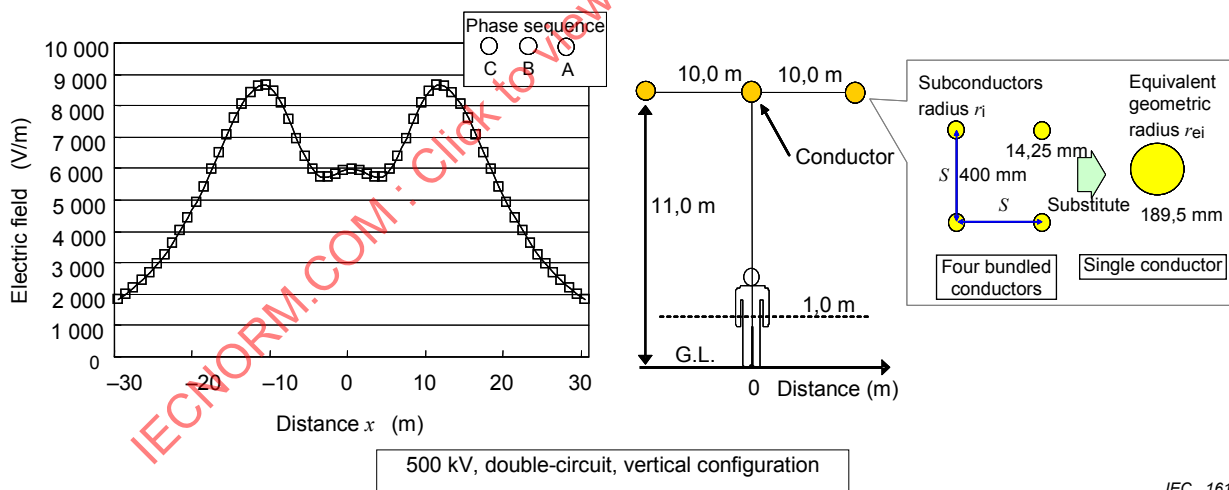


Figure A.4 – Electric field levels under an overhead transmission line with bundled conductors

A.3.2 Factors affecting an electric field

A.3.2.1 Clearance of the lowest conductor from ground

Figure A.5 shows two examples of the spatial profile of the calculated electric field levels generated by a 77 kV overhead transmission line that has a double-circuit, vertical configuration. In one case, the clearance of the lowest conductor from ground is assumed to be 11,0 m, and in the other, 6,0 m. The cases of both the untransposed and the transposed phase arrangement are considered. Electric field levels are calculated as a function of distance from the centre of the conductors, at heights of 0,5 m, 1,0 m, and 1,5 m above ground. Each conductor has a radius of 12,65 mm.

Calculated non-uniformity is also shown in the Figure A.5, which is defined as the maximum value of

$$(|E_h - E_{avg}|) / E_{avg} \times 100 (\%) \quad (\text{A.16})$$

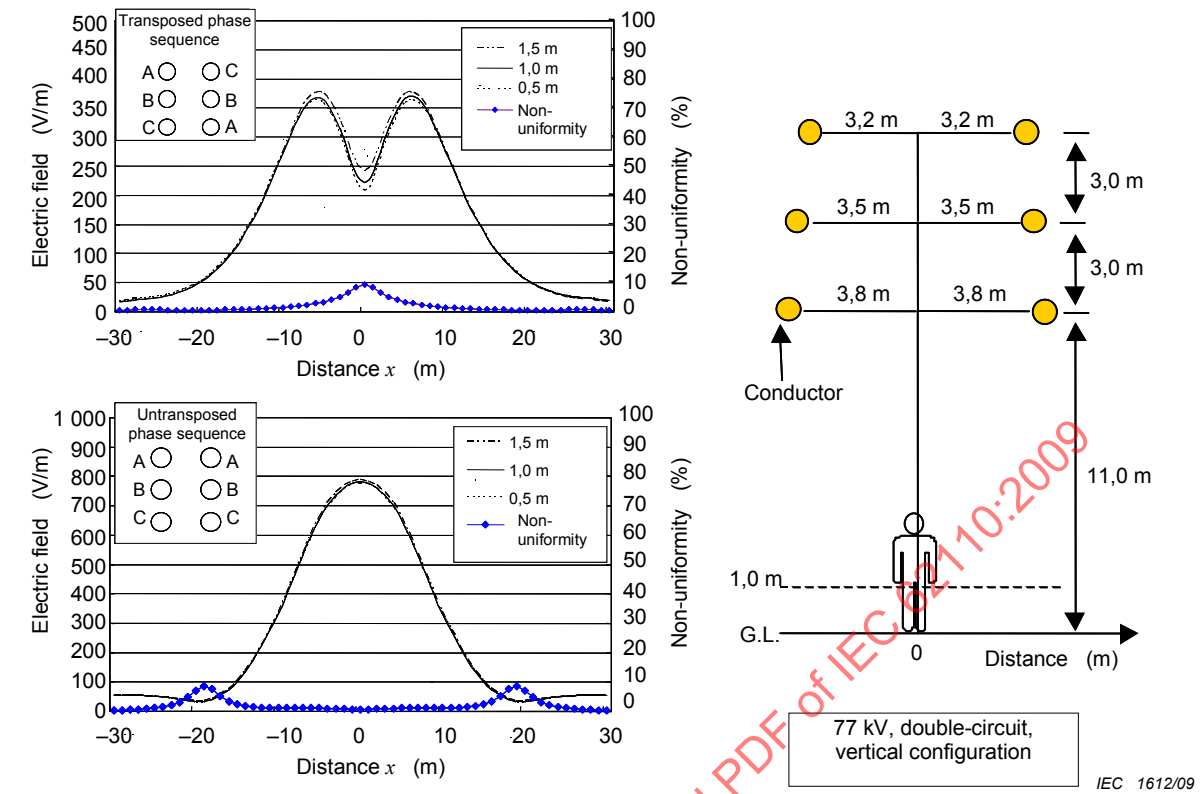
where

E_h is the electric field level at heights of 0,5 m, 1,0 m and 1,5 m above ground;

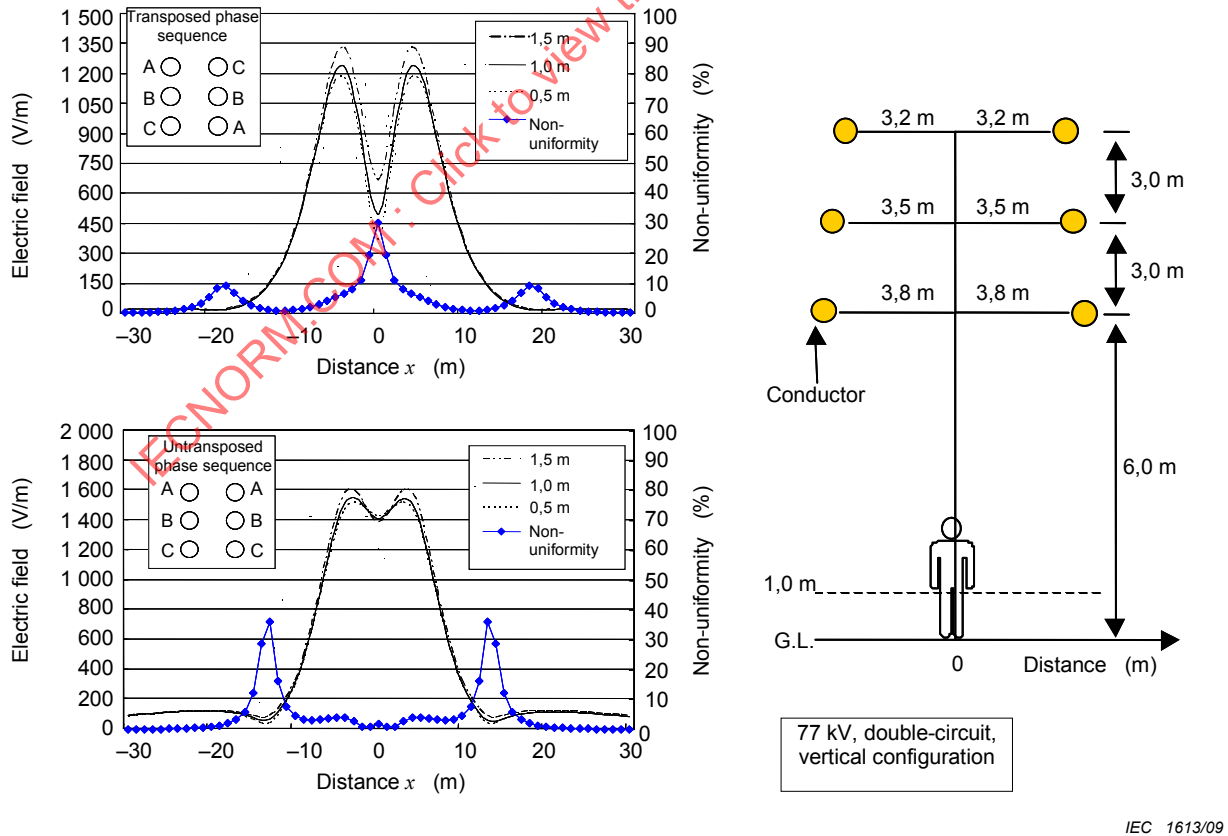
E_{avg} is the arithmetic mean of the three levels.

This could be an approximate measure to estimate and to define the non-uniformity of an electric field.

Figure A.6 shows two examples of the spatial profile of the calculated electric field levels generated by a 500 kV overhead transmission line that has a single-circuit, horizontal configuration. Calculated non-uniformity is also shown in the Figure A.6. In one case, the clearance of the lowest conductor from ground is assumed to be 11,0 m, and in the other, 6,0 m. Electric field levels are calculated as a function of distance from the centre of the conductors, at heights of 0,5 m, 1,0 m, and 1,5 m above ground. Each phase consists of four bundled conductors with radii of 14,25 mm, and the adjacent conductors spacing of 400 mm. Consequently, the equivalent geometric radius of 189,5 mm, obtained by Equation (A.12), is used for calculation.

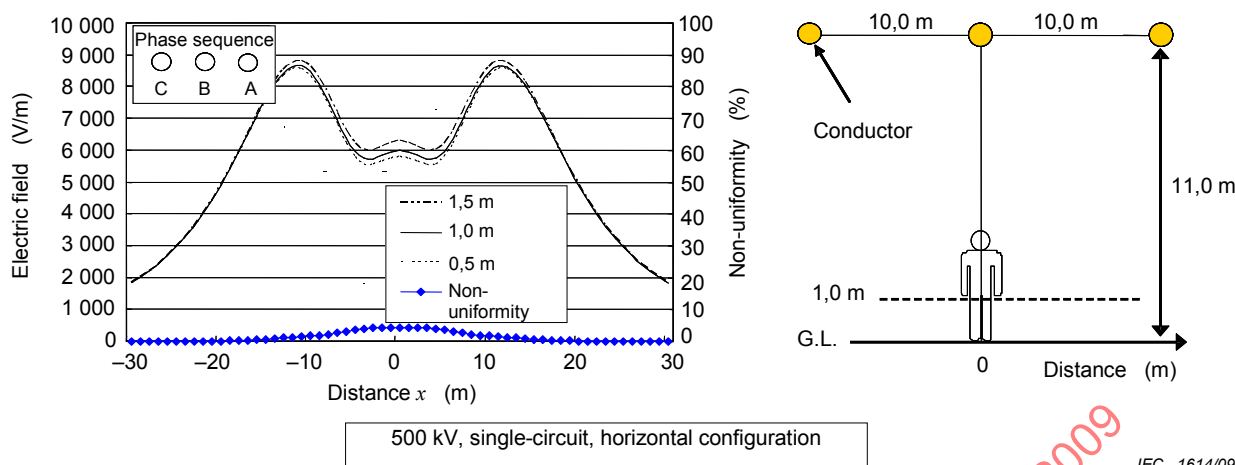


a) Clearance of the lowest conductor from ground is 11,0 m



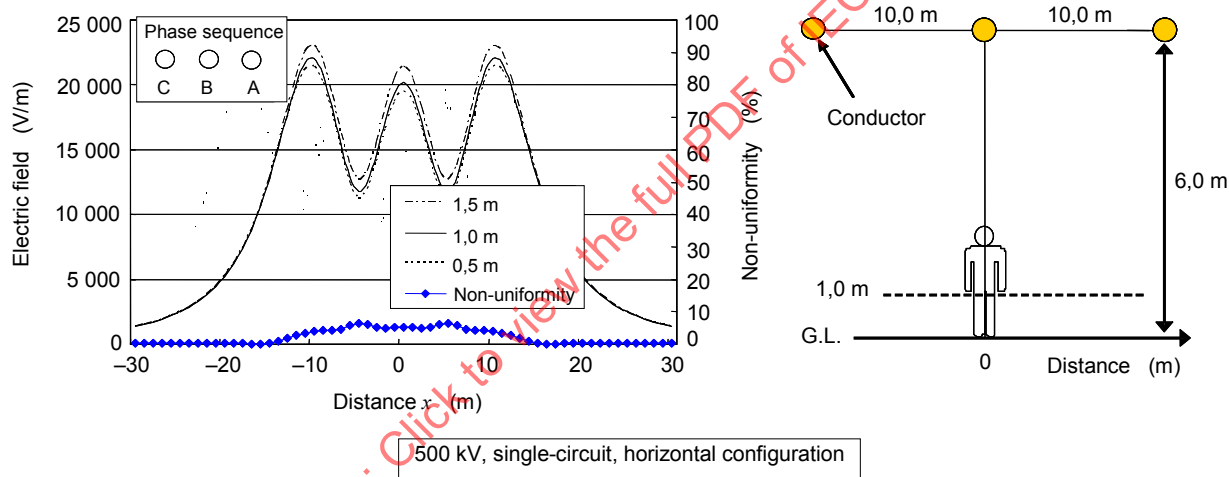
b) Clearance of the lowest conductor from ground is 6,0 m

Figure A.5 – Electric field levels and non-uniformity under a 77 kV overhead transmission line – Effect of heights of conductors



IEC 1614/09

a) Clearance of the lowest conductor from ground is 11,0 m



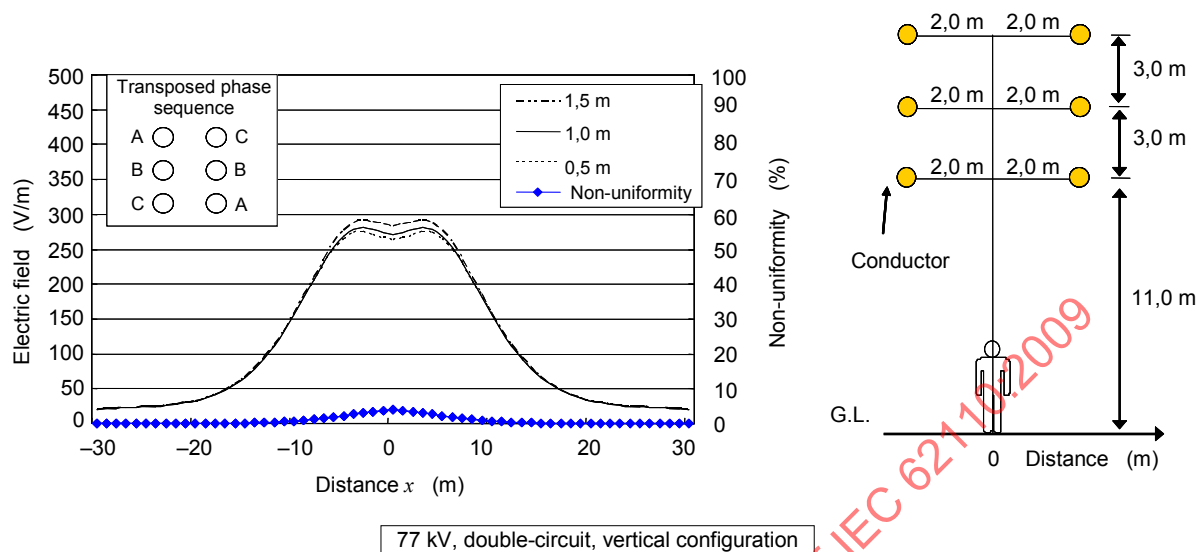
IEC 1615/09

b) Clearance of the lowest conductor from ground is 6,0 m

Figure A.6 – Electric field levels and non-uniformity under a 500 kV overhead transmission line – Effects of the heights of conductors

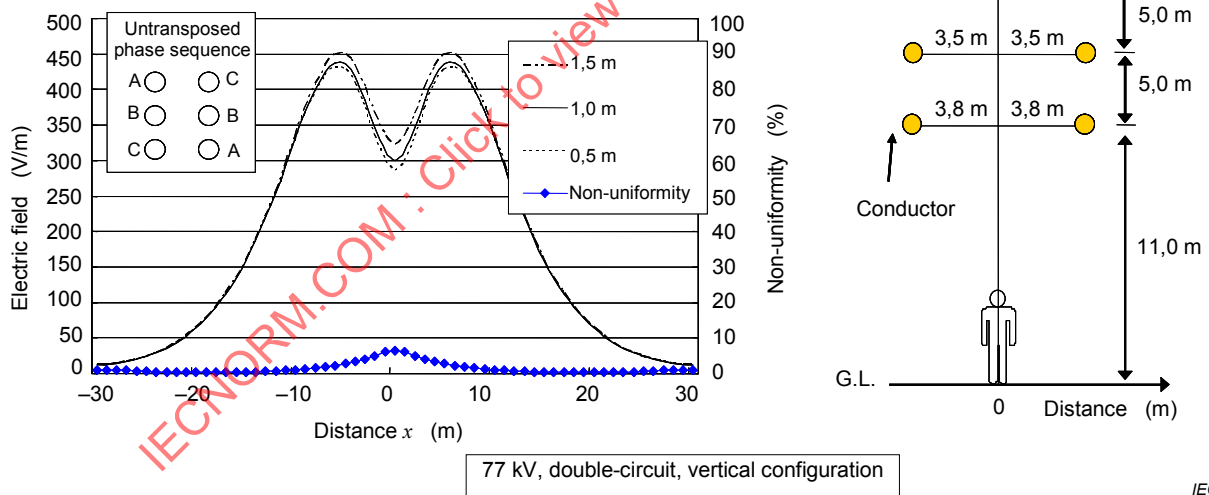
A.3.2.2 Separation of each conductor

Figure A.7 shows two examples of the spatial profile of the calculated electric field levels generated by a 77 kV overhead transmission line that has a double-circuit, vertical configuration. Calculated non-uniformity is also shown in Figure A.7. Two overhead lines with same voltage are assumed, one with smaller conductor separations and the other with larger ones. The phase arrangement is transposed, and each conductor has a radius of 12,65 mm. Electric field levels are calculated as a function of distance from the centre of the conductors, at a height of 1,0 m above ground.



IEC 1616/09

a) Smaller conductor separations

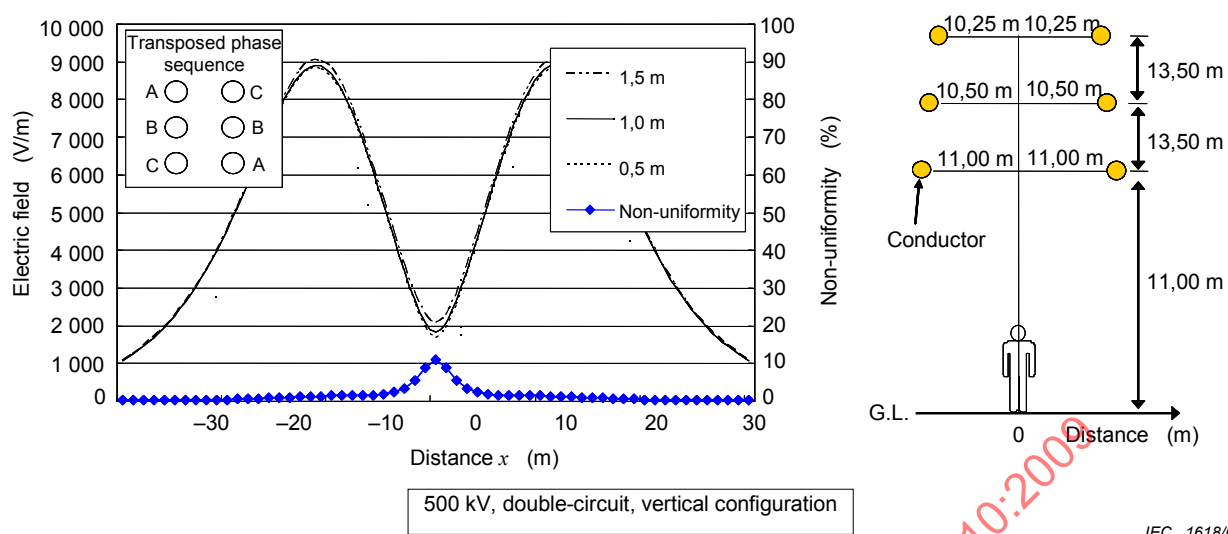


IEC 1617/09

b) Larger conductor separations

Figure A.7 – Electric field levels under a 77 kV overhead transmission line – Effect of separation between conductors

Figure A.8 shows an example of the spatial profile of the calculated electric field levels generated by a 500 kV overhead transmission line that has double-circuit and vertical configuration. Calculated non-uniformity is also shown in Figure A.8. The phase arrangement is transposed. Electric field levels are calculated as a function of distance from the centre of the conductors, at a height of 1,0 m above ground. Each phase consists of four bundled conductors with radii of 14,25 mm and the adjacent conductors spacing of 400 mm. Consequently, the equivalent geometric radius of 189,5 mm, obtained by Equation (A.12), is used for calculation.

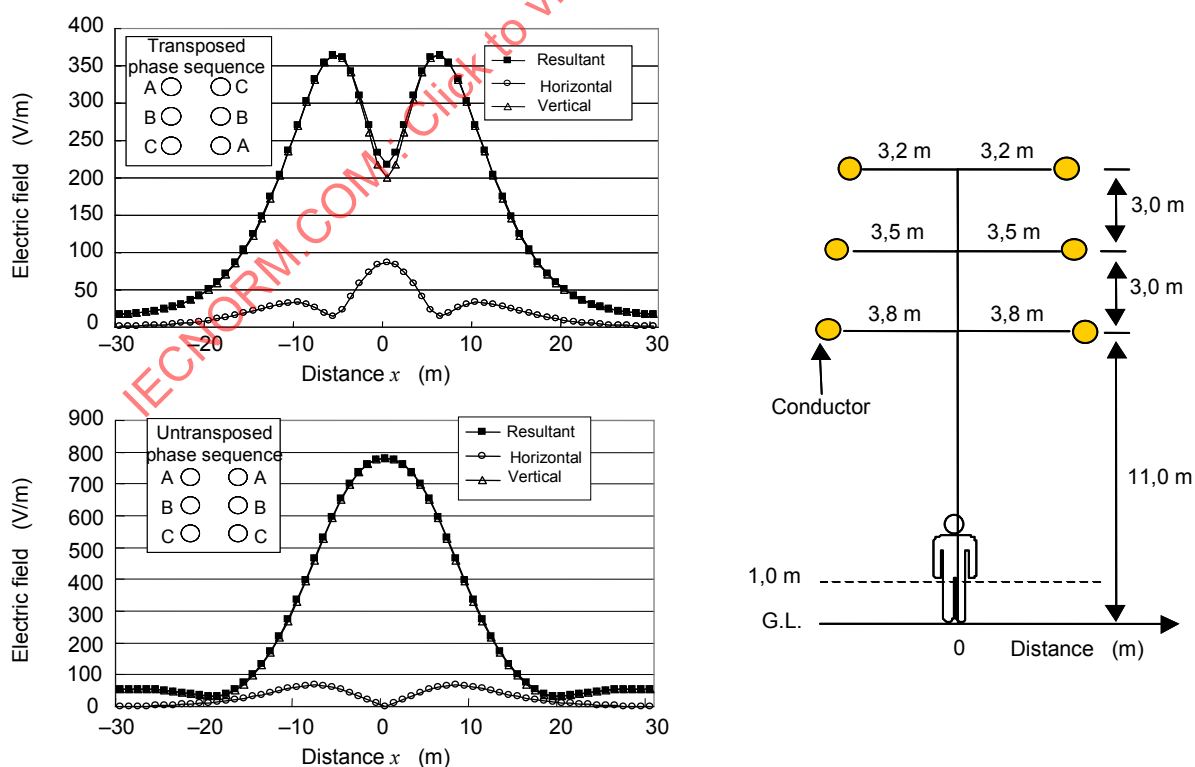


IEC 1618/09

Figure A.8 – Electric field levels and non-uniformity under a 500 kV overhead transmission line – Effect of separation between conductors

A.3.3 Vertical and horizontal components

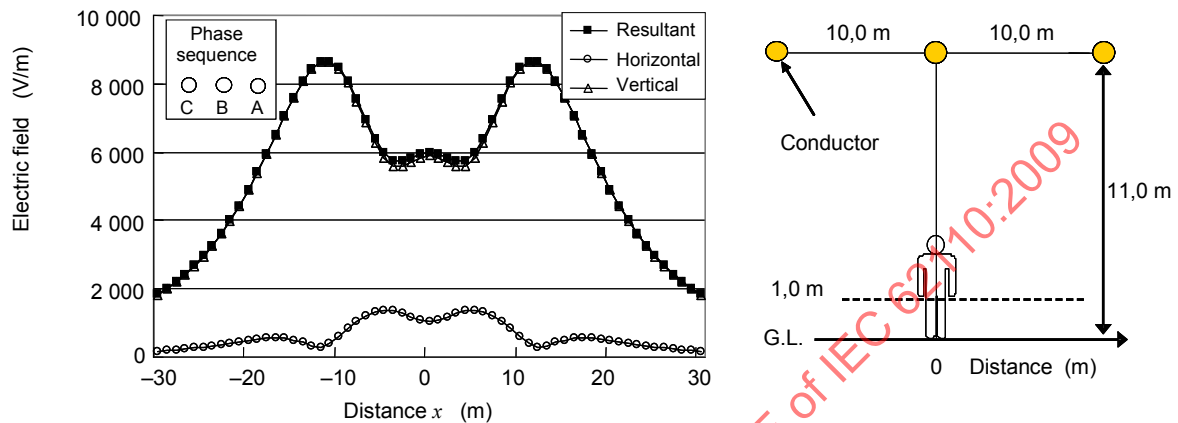
Figure A.9 shows examples of the spatial profile of vertical and horizontal components of the calculated electric field levels generated by a 77 kV overhead transmission line that has double-circuit, vertical configuration. Each conductor has a radius of 12,65 mm. Both transposed and untransposed phase arrangements are considered. Electric field levels are calculated as a function of distance from the centre of the conductors, at a height of 1,0 m above ground. The clearance of the lowest conductor from ground is 11,0 m.



IEC 1619/09

Figure A.9 – Vertical and horizontal components of electric field levels under a 77 kV overhead transmission line

Figure A.10 shows an example of the spatial profile of vertical and horizontal components of the calculated electric field levels generated by a 500 kV overhead transmission line that has a single-circuit, horizontal configuration. Electric field levels are calculated as a function of distance from the centre of the conductors, at a height of 1,0 m above ground. The clearance of the lowest conductor from ground is 11,0 m. Each phase consists of four bundled conductors with a radius of 14,25 mm and the adjacent conductors spacing of 400 mm. Consequently, the equivalent geometric radius of 189,5 mm, obtained by Equation (A.12), is used for calculation.

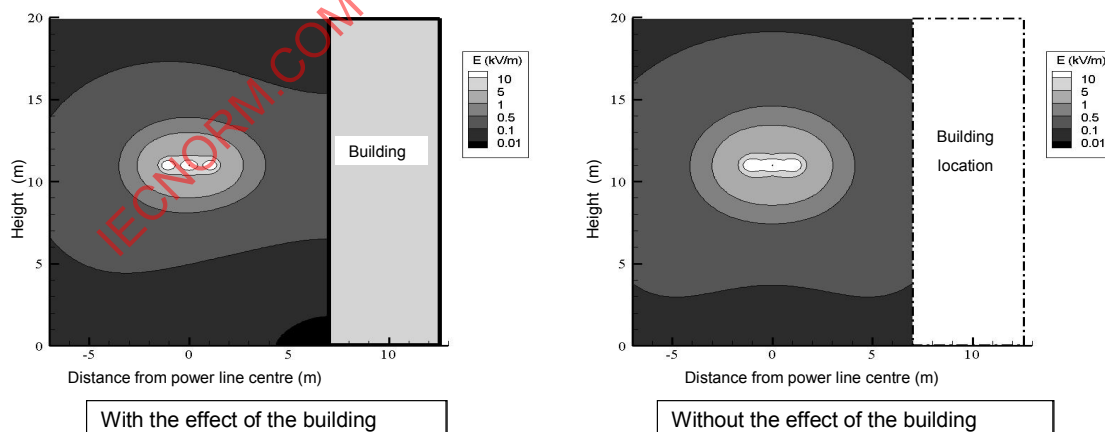


IEC 1620/09

Figure A.10 – Vertical and horizontal components of electric field levels under a 500 kV overhead transmission line

A.3.4 Proximity effect

Figure A.11 shows an example of a calculated contour plot of the electric field levels generated by a 25 kV overhead line close to a tall building. The maximum field on the wall is located at a height close to the conductors. At ground level, the field is reduced by the building (see Figure A.12).



IEC 1621/09

Key

Conductor height	11,0 m
Conductor separation	1,12 m
Building height	20,0 m, located at 7,0 m from the centre of an overhead line

Figure A.11 – Electric field contour of a 25 kV overhead line

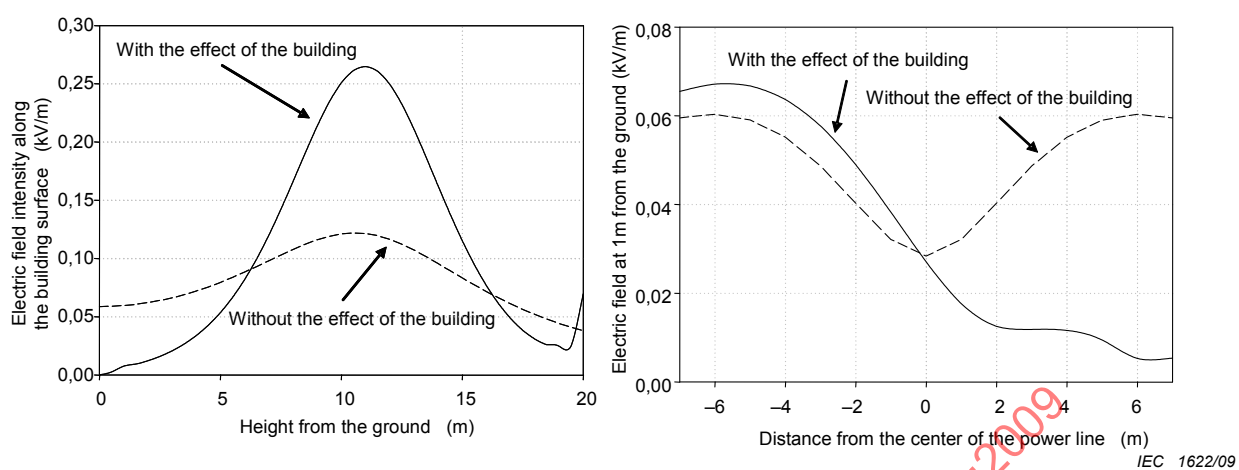


Figure A.12 – Electric field profile along the wall of a building and at 1 m above ground level

Annex B (informative)

Characteristics of magnetic fields generated by AC power systems

B.1 General

When the magnetic field is uniform, the *average exposure level* to the magnetic field can be evaluated by a *single-point measurement*. However, when the magnetic field is non-uniform, an appropriate measurement method is necessary for evaluating the *average exposure level*. For that purpose, we have to understand the spatial distribution of magnetic fields around the power system.

The spatial distribution of magnetic fields can be different depending on the types of source, for example overhead line, underground cable, power distribution equipment and substation. They also differ depending on the circuit configuration of each system.

This annex shows the general calculation procedure and examples of calculated spatial profiles of magnetic fields generated by various power systems.

B.2 General calculation procedure for magnetic field level

B.2.1 Resultant magnetic field

The resultant magnetic flux density B_r is defined as a square root of the mean value over a cycle T of the inner product of magnetic field vector $\mathbf{B}$ and $\mathbf{B}$, and is expressed by the following formula:

$$\begin{aligned}\mathbf{B} &= B_x(t) \mathbf{i} + B_y(t) \mathbf{j} + B_z(t) \mathbf{k} \\ &= \sqrt{2} B_x \sin(\omega t + \alpha) \mathbf{i} + \sqrt{2} B_y \sin(\omega t + \beta) \mathbf{j} + \sqrt{2} B_z \sin(\omega t + \gamma) \mathbf{k}\end{aligned}\quad (\text{B.1})$$

where $\mathbf{i}$, $\mathbf{j}$ and $\mathbf{k}$ are unit vectors of three orthogonal directions.

$$\begin{aligned}B_r &= \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T |\mathbf{B}|^2 dt} = \sqrt{\frac{\omega}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{\omega}}^{\frac{\pi}{\omega}} |\mathbf{B}|^2 dt} \\ &= \sqrt{\frac{\omega}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{\omega}}^{\frac{\pi}{\omega}} [2B_x^2 \sin^2(\omega t + \alpha) + 2B_y^2 \sin^2(\omega t + \beta) + 2B_z^2 \sin^2(\omega t + \gamma)] dt}\end{aligned}\quad (\text{B.2})$$

The substitution

$$\int_{-\frac{\pi}{\omega}}^{\frac{\pi}{\omega}} \sin^2(\omega t + \alpha) dt = \int_{-\frac{\pi}{\omega}}^{\frac{\pi}{\omega}} \frac{1}{2} \{1 - \cos 2(\omega t + \alpha)\} dt = \frac{\pi}{\omega}\quad (\text{B.3})$$

leads to the significant simplification of the formula (B.2):

$$B_r = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}\quad (\text{B.4})$$

B_r is simply called the resultant magnetic field. It is not influenced by the phase difference between each axial component and is determined only by the r.m.s. value of each axial component of the magnetic field.

B_r should be used to evaluate the exposure of the human body to magnetic fields.

B.2.2 Maximum and minimum r.m.s value of a single-frequency AC magnetic field

The conditions to provide the maximum and minimum magnitude of magnetic field vector $|\mathbf{B}|$ are shown below.

$$\frac{d|\mathbf{B}|}{dt} = 0 \quad (\text{B.5})$$

$|\mathbf{B}|$ is expressed by the following formula:

$$\begin{aligned} |\mathbf{B}| &= \sqrt{\mathbf{B} \cdot \mathbf{B}} \\ &= \sqrt{2B_x^2 \sin^2(\omega t + \alpha) + 2B_y^2 \sin^2(\omega t + \beta) + 2B_z^2 \sin^2(\omega t + \gamma)} \end{aligned} \quad (\text{B.6})$$

For Equation (B.6), the condition to satisfy formula (B.5) is the following.

$$2\omega t + \delta = \pi \quad \text{or} \quad 2\omega t + \delta = 0 \quad (\text{B.7})$$

where

δ is given by

$$\delta = \tan^{-1} \frac{B_x^2 \sin 2\alpha + B_y^2 \sin 2\beta + B_z^2 \sin 2\gamma}{B_x^2 \cos 2\alpha + B_y^2 \cos 2\beta + B_z^2 \cos 2\gamma} \quad (\text{B.8})$$

By substituting (B.7) into Equation (B.6) one can evaluate respective expressions for $B_{\min}$, the minimum r.m.s. value of $|\mathbf{B}|$ and $B_{\max}$, the maximum r.m.s. value of $|\mathbf{B}|$:

$$|\mathbf{B}| = \sqrt{(B_x^2 + B_y^2 + B_z^2) \pm \{B_x^2 \cos(2\alpha - \delta) + B_y^2 \cos(2\beta - \delta) + B_z^2 \cos(2\gamma - \delta)\}} \quad (\text{B.9})$$

$$\begin{aligned} B_{\max} &= \frac{1}{\sqrt{2}} \text{Max } |\mathbf{B}| \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(B_x^2 + B_y^2 + B_z^2) + \{B_x^2 \cos(2\alpha - \delta) + B_y^2 \cos(2\beta - \delta) + B_z^2 \cos(2\gamma - \delta)\}} \end{aligned} \quad (\text{B.10})$$

$$\begin{aligned} B_{\min} &= \frac{1}{\sqrt{2}} \text{Min } |\mathbf{B}| \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(B_x^2 + B_y^2 + B_z^2) - \{B_x^2 \cos(2\alpha - \delta) + B_y^2 \cos(2\beta - \delta) + B_z^2 \cos(2\gamma - \delta)\}} \end{aligned} \quad (\text{B.11})$$

$B_{\max}$ and $B_{\min}$, which are called the maximum and minimum r.m.s. value of magnetic fields, correspond to the major and minor axes of the elliptical magnetic field respectively. The relation of $B_{\max} \leq B_r$ always holds true, and the equal sign holds true for linear magnetic fields. Furthermore, the following relation holds between $B_{\max}$, $B_{\min}$, and B_r .

$$B_r = \sqrt{B_{\max}^2 + B_{\min}^2} \quad (\text{B.12})$$

For fields with harmonics, $B_{\max}$ and $B_{\min}$ are more difficult to determine, so measurement should rely totally on the determination of B_r by the methods described in 4.3.

B.3 Example of magnetic fields generated by overhead transmission lines

B.3.1 Spatial profiles of a magnetic field

Figure B.1 shows examples of the spatial profile of the calculated magnetic field levels generated by a 77 kV overhead transmission line that has double-circuit, vertical configuration. Cases of both the untransposed and the transposed phase arrangement are considered. Magnetic field levels are calculated as a function of distance from the centre of the line, at a height of 1,0 m above ground. The value of current flowing through each circuit is assumed to be balanced 200 A.

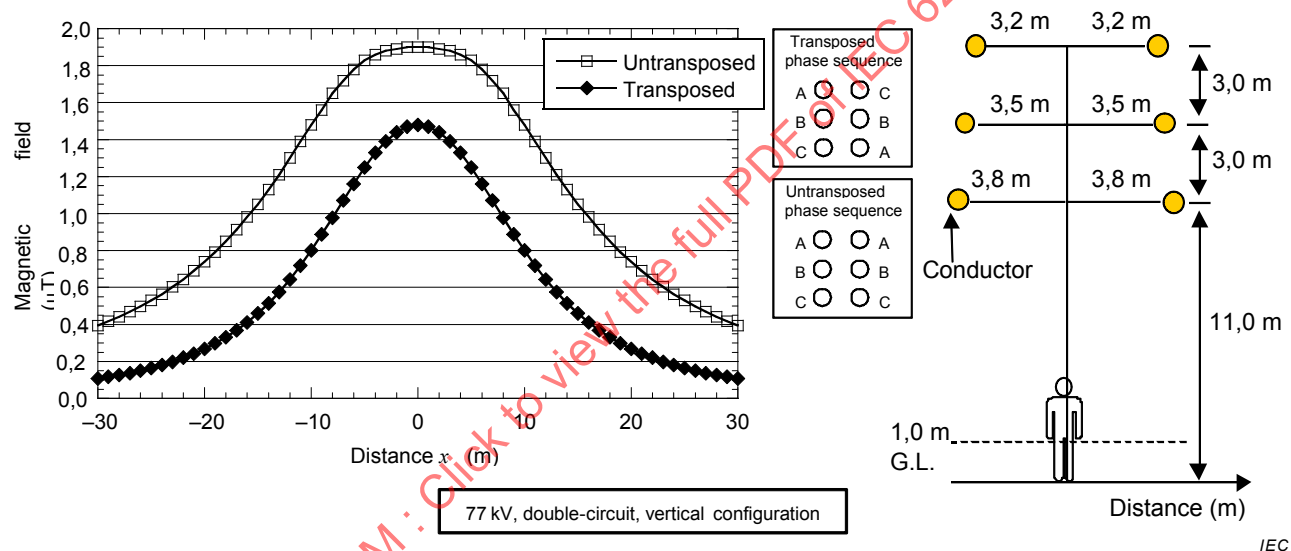
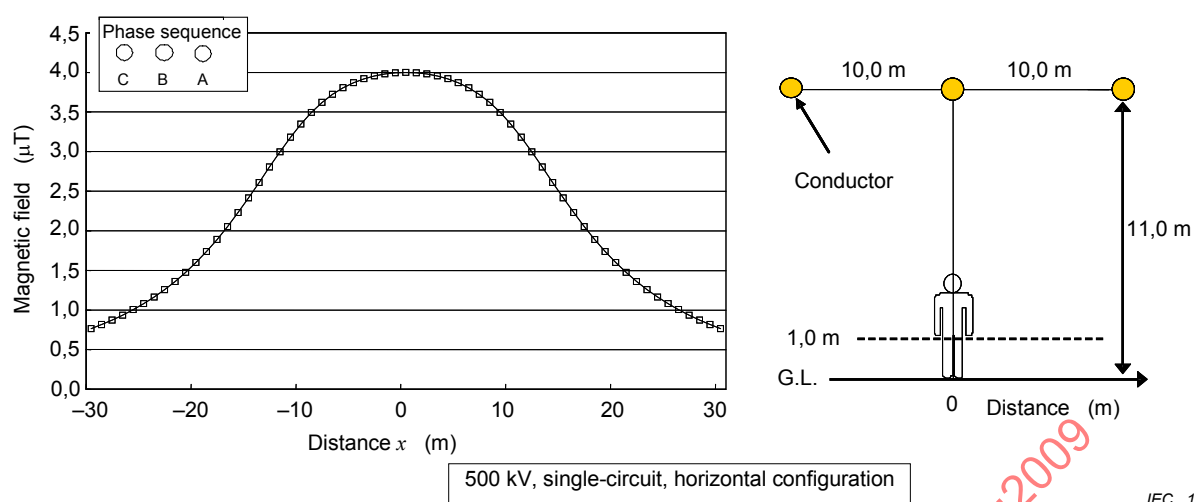


Figure B.1 – Magnetic field levels under a 77 kV overhead transmission line

Figure B.2 shows an example of the spatial profile of the calculated magnetic field levels generated by a 500 kV overhead transmission line that has a single-circuit, horizontal configuration. Magnetic field levels are calculated as a function of distance from the centre of the conductors, at a height of 1,0 m above ground. The value of current flowing through the circuit is assumed to be balanced 200 A.



IEC 1624/09

Figure B.2 – Magnetic field levels under a 500 kV overhead transmission line

B.3.2 Factors affecting magnetic field

B.3.2.1 Clearance of the lowest conductor from ground

Figure B.3 shows two examples of the spatial profile of the calculated magnetic field levels generated by a 77 kV overhead transmission line that has a double-circuit, vertical configuration. In one case, the clearance of the lowest conductor from ground is assumed to be 11,0 m, and in the other, 6,0 m. Cases of both the untransposed and the transposed phase arrangement are considered. Magnetic field levels are calculated as a function of distance from the centre of the conductors, at heights of 0,5 m, 1,0 m and 1,5 m above ground. The value of current flowing through each circuit is assumed to be balanced 200 A.

Figure B.3 also shows the calculated non-uniformity, which is defined as the maximum value of

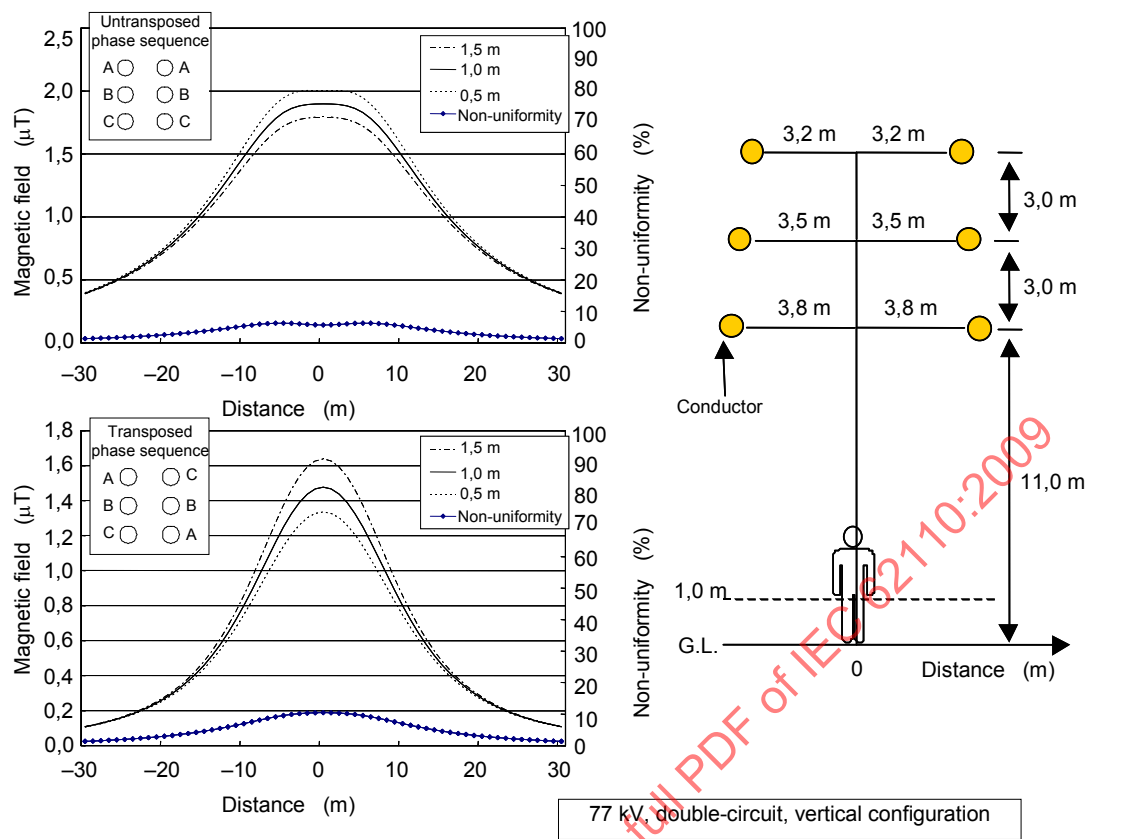
$$\left(\frac{|B_h - B_{avg}|}{B_{avg}} \right) \times 100 \quad (\%) \quad (\text{B.13})$$

where

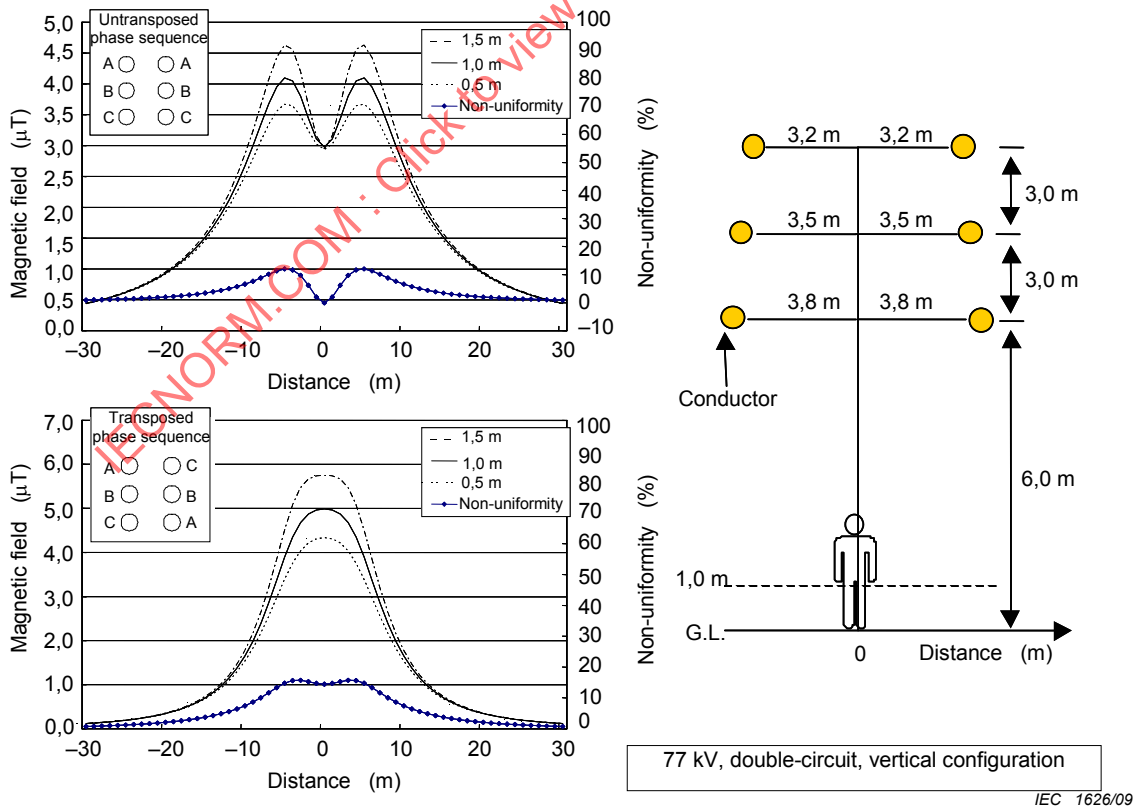
B_h is the magnetic field level at heights of 0,5 m, 1,0 m and 1,5 m above ground;

B_{avg} is the arithmetic mean of the three levels.

This could be an approximate measure to estimate and to define the non-uniformity of a magnetic field.



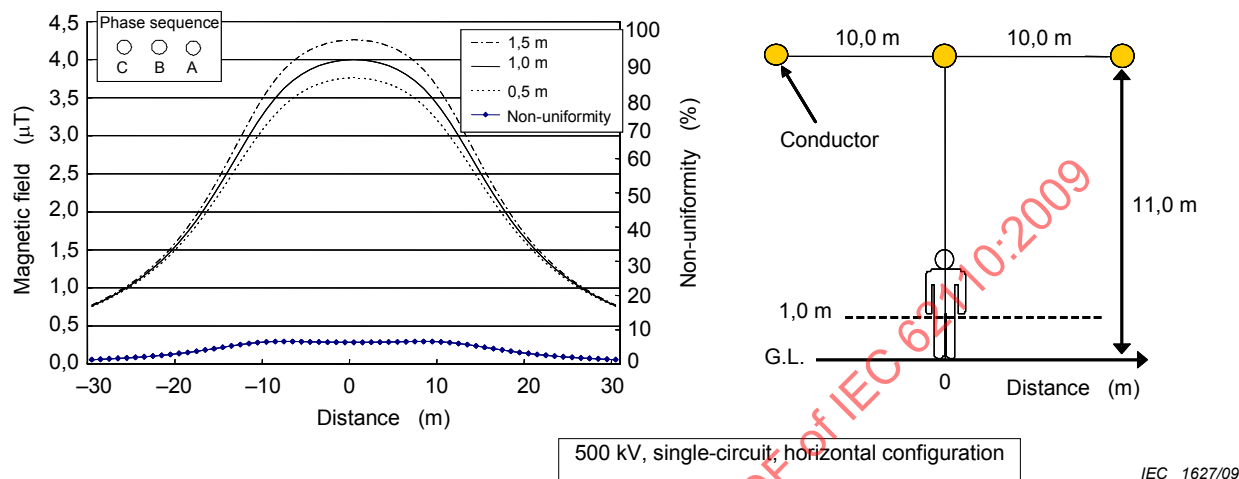
a) Clearance of the lowest conductor from the ground is 11,0 m



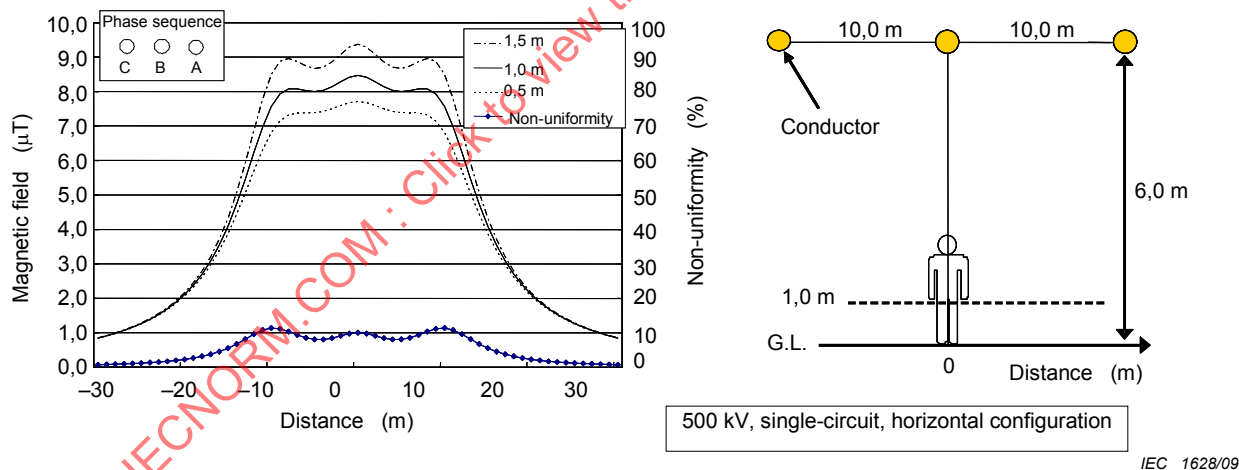
b) Clearance of the lowest conductor from the ground is 6,0 m

Figure B.3 – Magnetic field levels and non-uniformity under a 77 kV overhead transmission line – Effect of heights of conductors

Figure B.4 shows two examples of the spatial profile of the calculated magnetic field levels generated by a 500 kV overhead transmission line that has a single-circuit, horizontal configuration. Calculated non-uniformity is also shown in Figure B.4. In one case, the clearance of the lowest conductor from ground is assumed to be 11,0 m, and in the other, 6,0 m. Magnetic field levels are calculated as a function of distance from the centre of the conductors, at heights of 0,5 m, 1,0 m and 1,5 m above ground. The value of current flowing through the circuit is assumed to be balanced 200 A.



a) Clearance of the lowest conductor from the ground is 11,0 m

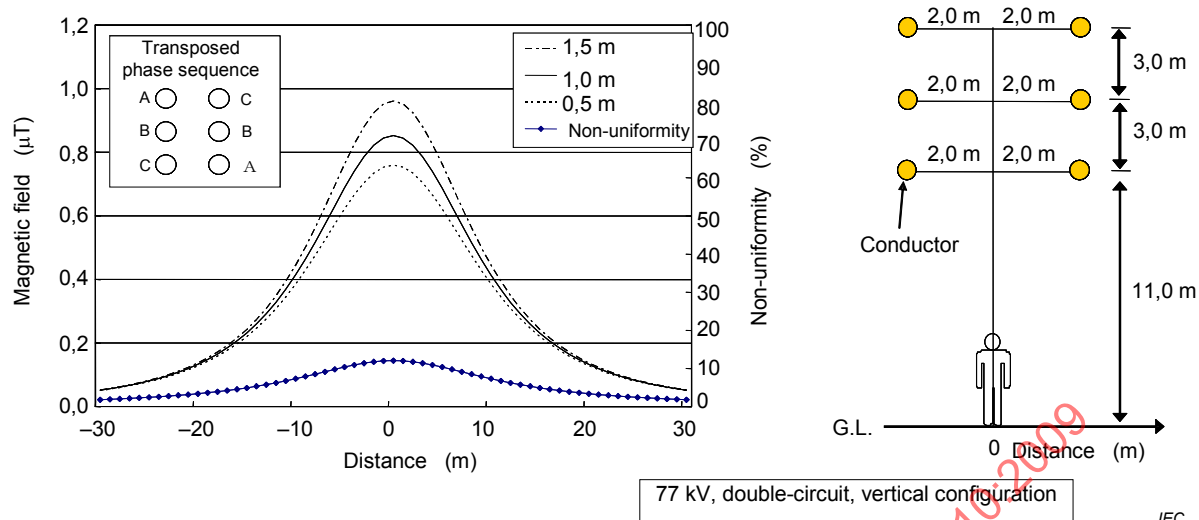


b) Clearance of the lowest conductor from the ground is 6,0m

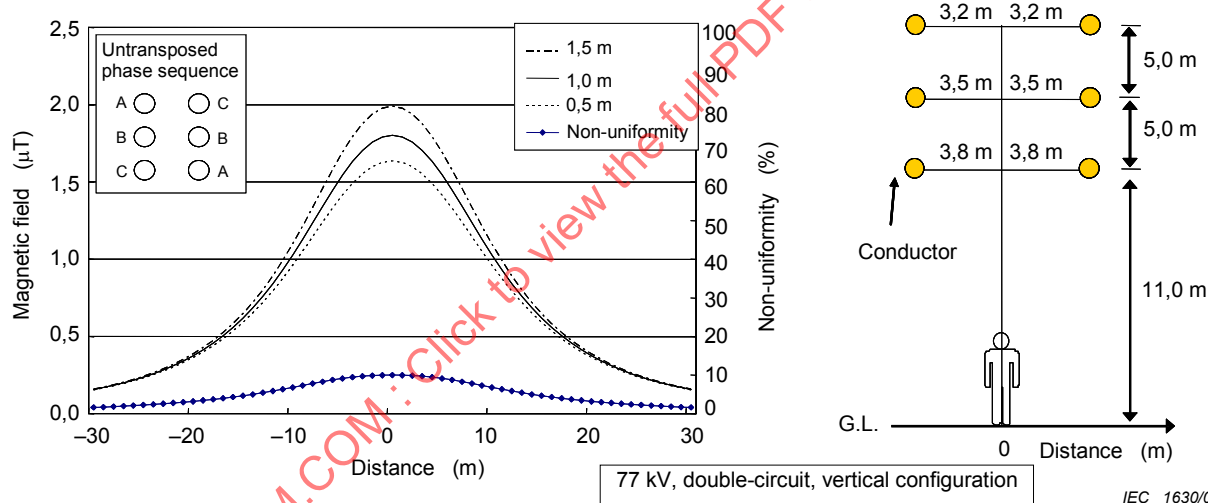
Figure B.4 – Magnetic field levels and non-uniformity under a 500 kV overhead transmission line – Effect of heights of conductors

B.3.2.2 Separation of each conductor

Figure B.5 shows two examples of spatial profile of the calculated magnetic field levels generated by a 77 kV overhead transmission line that has a double-circuit, vertical configuration. Calculated non-uniformity is also shown in Figure B.5. Two overhead lines with same voltage are assumed, one with smaller conductor separations and the other with larger ones. Magnetic field levels are calculated as a function of distance from the centre of the conductors, at heights of 0,5 m, 1,0 m and 1,5 m above ground. The value of current flowing through the circuit is assumed to be balanced 200 A, and a transposed phase arrangement is also assumed.



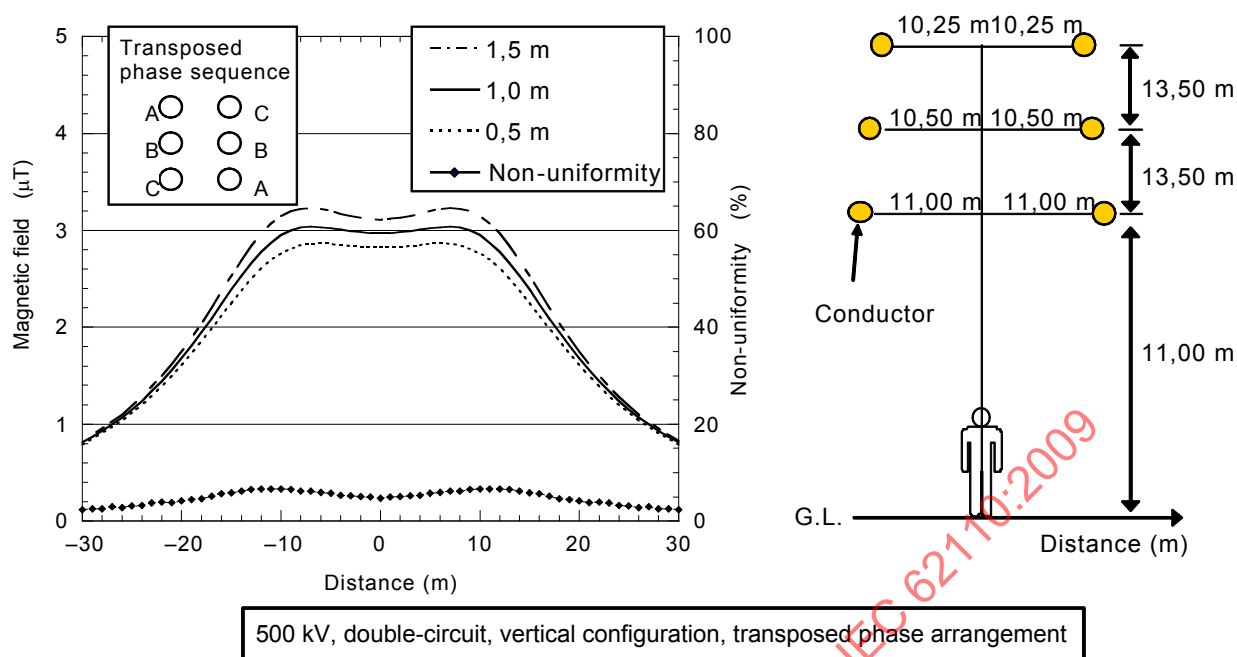
a) Smaller conductor separations



b) Larger conductor separations

Figure B.5 – Magnetic field levels and non-uniformity under a 77 kV overhead transmission line – Effect of separation between conductors

Figure B.6 shows an example of the spatial profile of the calculated magnetic field levels generated by a 500 kV overhead transmission line that has a double-circuit, vertical configuration. Calculated non-uniformity is also shown in Figure B.6. Magnetic field levels are calculated as a function of distance from the centre of the conductors, at heights of 0,5 m, 1,0 m, and 1,5 m above ground. The value of current flowing through the circuit is assumed to be balanced 200 A, and a transposed phase arrangement is also assumed.

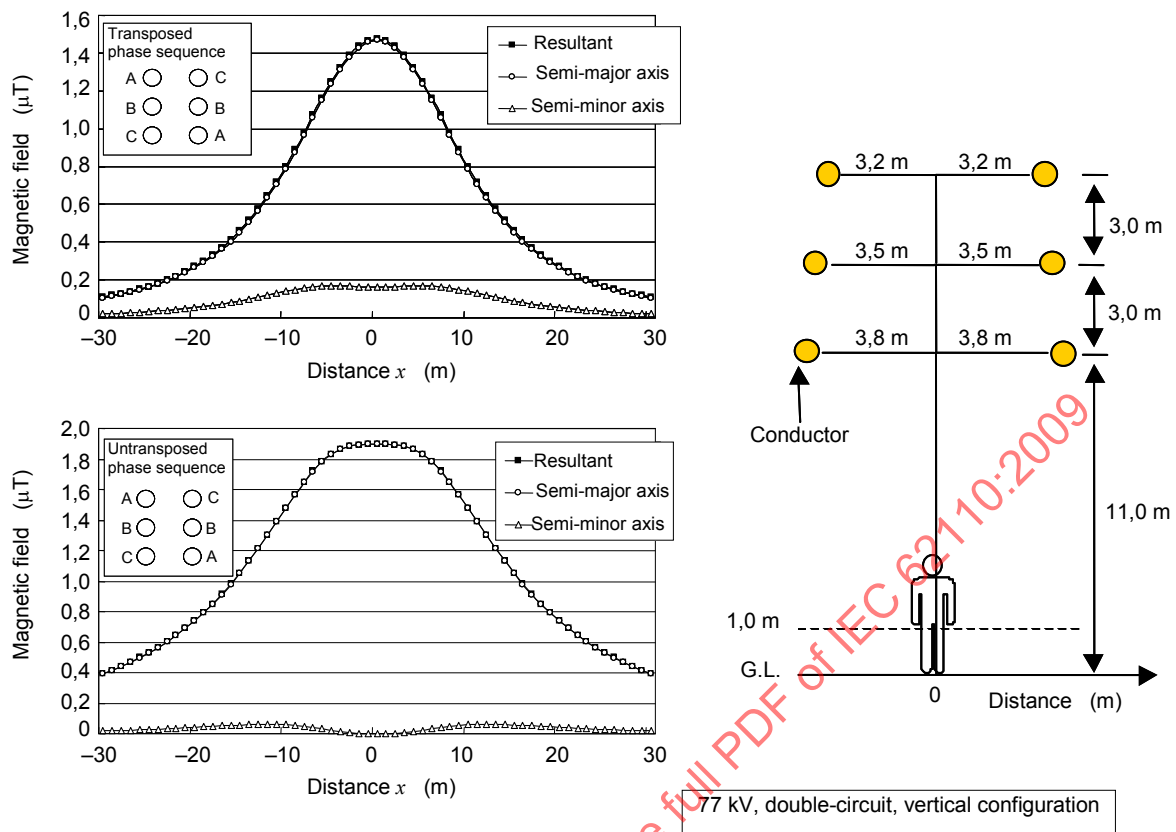


IEC

Figure B.6 – Magnetic field levels and non-uniformity under a 500 kV overhead transmission line – Effect of separation between conductors

B.3.3 Semi-major and semi-minor components

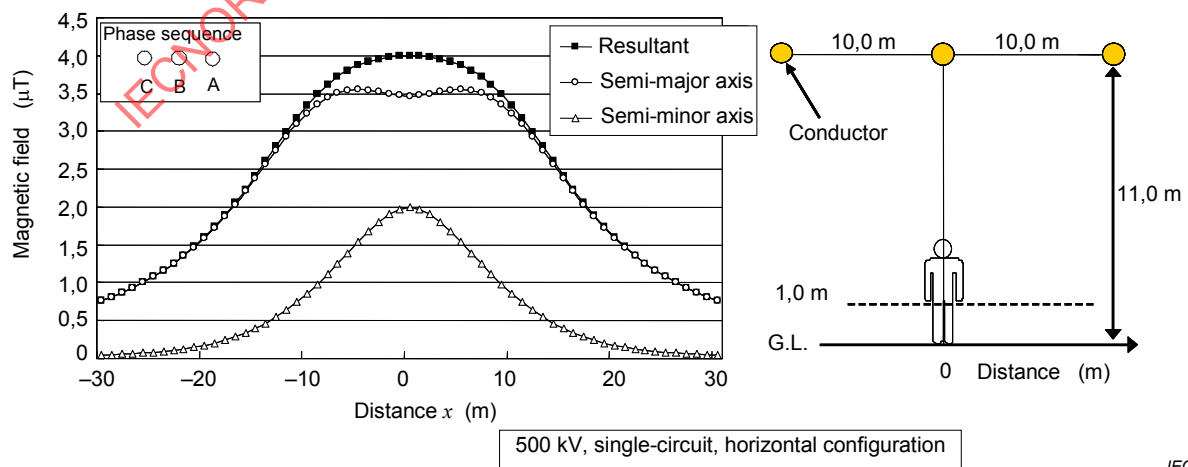
Figure B.7 shows examples of the spatial profile of semi-major and semi-minor components of the calculated magnetic field levels generated by a 77 kV overhead transmission line that has a double-circuit, vertical configuration. Cases of both the untransposed and the transposed phase arrangement are considered. Magnetic field levels are calculated as a function of distance from the centre of the conductors, at a height of 1,0 m above ground. The value of current flowing through each circuit is assumed to be balanced 200 A.



IEC 1632/09

Figure B.7 – Values of semi-major and semi-minor components (r.m.s.) of magnetic field levels under a 77 kV overhead transmission line

Figure B.8 shows an example of the spatial profile of semi-major and semi-minor components of the calculated magnetic field levels generated by a 500 kV overhead transmission line that has a single-circuit, horizontal configuration. Magnetic field levels are calculated as a function of distance from the centre of the conductors, at a height of 1,0 m above ground. The value of current flowing through the circuit is assumed to be balanced 200 A.



IEC 1633/09

Figure B.8 – Values of semi-major and semi-minor components (r.m.s.) of magnetic field levels under a 500 kV overhead transmission line

B.4 Example of magnetic fields generated by distribution lines

Figure B.9 shows an example of the spatial profile of the calculated magnetic field levels generated by 6 600 V and 100 V overhead distribution lines. Calculated non-uniformity is also shown in Figure B.9. Magnetic field levels are calculated as a function of distance from the centre of the conductors, at heights of 0,5 m, 1,0 m and 1,5 m above ground. The currents flowing through these circuits are assumed to be unbalanced current of 200 A (phase A), 190 A (phase B), and 150 A (phase C) for the 6 600 V line, and to be balanced current of 100 A for 100 V line except for the neutral conductor.

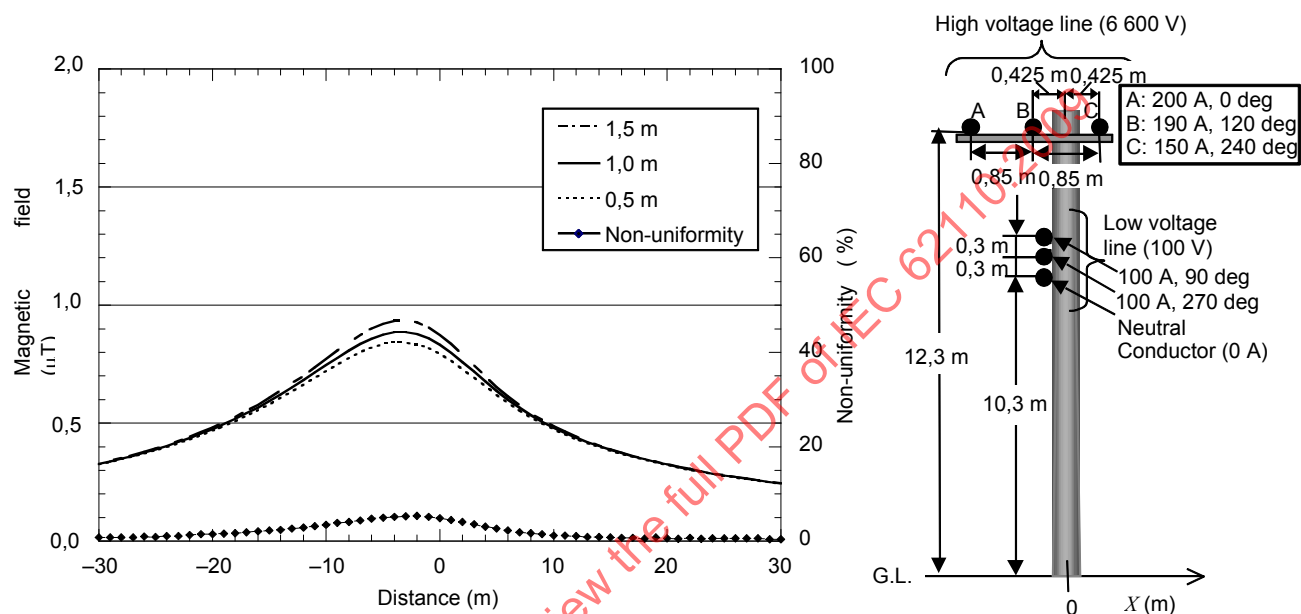
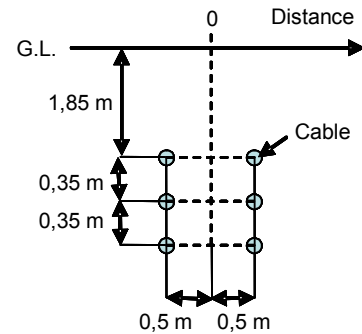
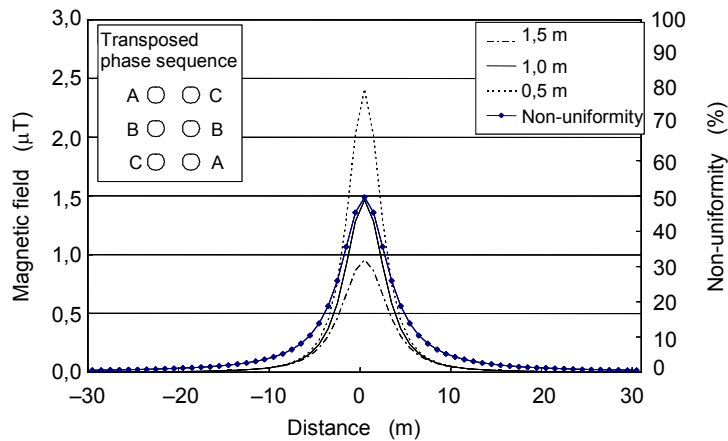


Figure B.9 – Magnetic field levels and non-uniformity under an overhead distribution line (6 600 V / 100 V)

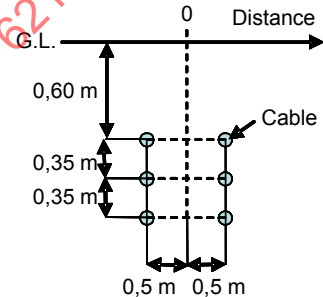
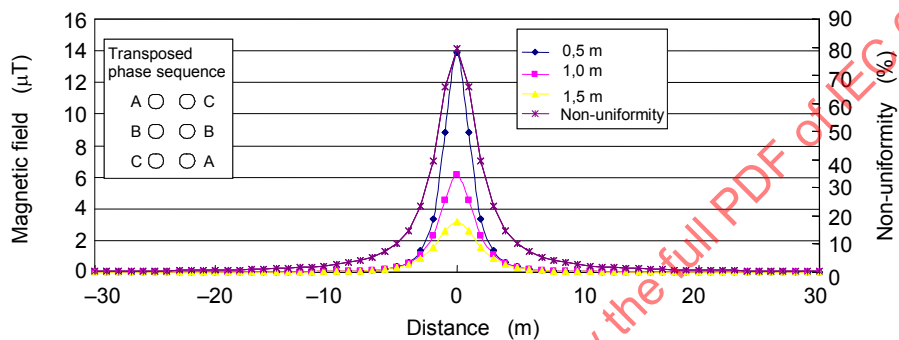
B.5 Example of magnetic fields generated by underground cables

Figure B.10 shows an example of the spatial profile of the calculated magnetic field levels generated by underground cables that have a double circuit, vertical configuration. Calculated non-uniformity is also shown in Figure B.10. Magnetic field levels are calculated as a function of distance from the centre of the cables, at heights of 0,5 m, 1,0 m and 1,5 m above ground. The current flowing through the circuit is assumed to be balanced 200 A, and a transposed phase arrangement is also assumed. Profiles of magnetic field levels and non-uniformity are compared between the cases of deeply buried cables and less deeply buried ones.



IEC 1635/09

a) Deeply buried cables

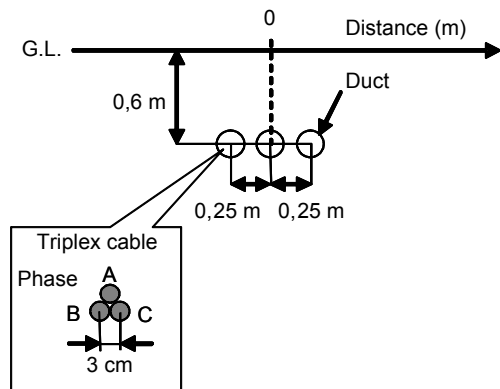
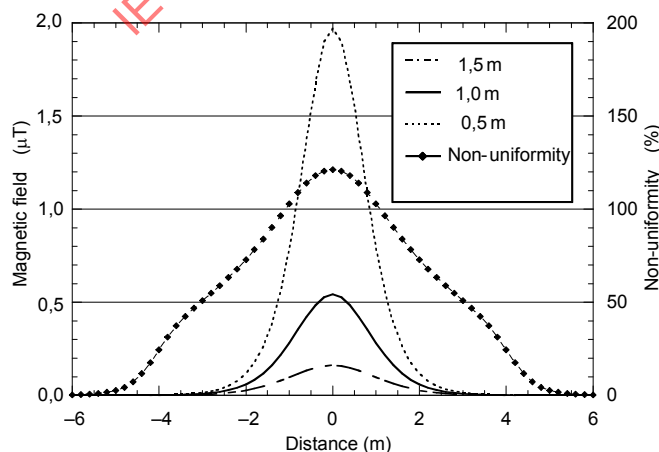


IEC 1636/09

b) Less deeply buried cables

Figure B.10 – Magnetic field levels and non-uniformity above underground cables – Effect of buried depth

Figure B.11 shows an example of the spatial profile of the calculated magnetic field levels generated by underground cables that have a triple circuit consisting of twisted three-wire cables (triplex cable) with a spiral pitch of 3,0 m. Calculated non-uniformity is also shown in Figure B.11. Magnetic field levels are calculated as a function of distance from the centre of the cables, at heights of 0,5 m, 1,0 m and 1,5 m above ground. The current flowing through the circuit is assumed to be balanced 200 A.

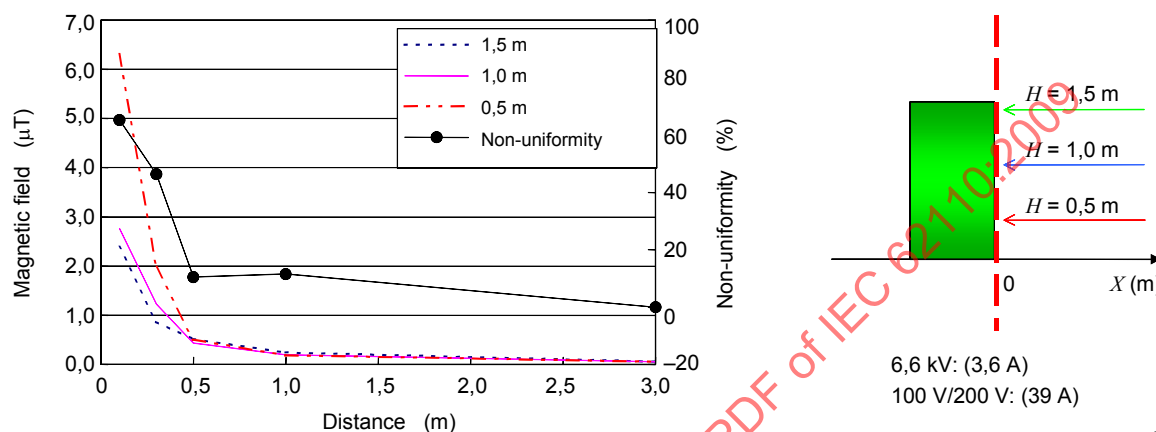


IEC

Figure B.11 – Magnetic field levels and non-uniformity above underground cables – Effect of separation between conductors

B.6 Example of magnetic fields generated by power distribution equipment

Figure B.12 shows an example of the spatial profile of the measured magnetic field levels generated by a power distribution equipment (6 600 V pad-mounted transformer). Calculated non-uniformity is also shown in Figure B.12. Magnetic field levels were measured as a function of distance from the surface of the equipment, at heights of 0,5 m, 1,0 m and 1,5 m above ground. The maximum measured point was in front of the LV circuit at 1,5 m height. The measured load current flowing through the primary and secondary circuit was 3,6 A for 6 600 V (primary circuit) and 39 A for 100 V / 200 V (secondary circuit).

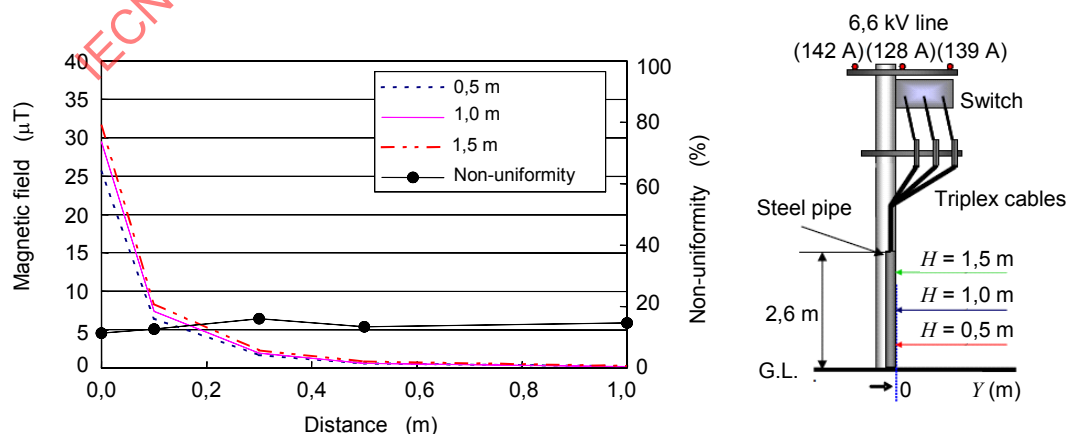


IEC 1638/09

Figure B.12 – Measured magnetic field levels and non-uniformity around a 6 600 V pad-mounted transformer

B.7 Example of magnetic fields generated by vertical cables

Figure B.13 shows an example of the spatial profile of the measured magnetic field levels generated by 6 600 V single-circuit vertical cables that consist of twisted three-wire cables (triplex cable, cross section: 325 mm², spiral pitch: 1,35 m, spiral radius: 22,5 mm). Calculated non-uniformity is also shown in Figure B.13. Magnetic field levels were measured as a function of distance from the surface of the cables, at heights of 0,5 m, 1,0 m, and 1,5 m above ground. The measured currents flowing through the cables were 142 A, 128 A, and 139 A for each phase.



IEC 1639/09

Figure B.13 – Measured magnetic field levels and non-uniformity around 6 600 V vertical cables

Annex C (informative)

Concept of the *three-point measurement* with regard to the *average exposure level*

C.1 Concept of the *three-point measurement*

In this standard, for a uniform magnetic field, the field level measured at a height of 1,0 m (a *single-point measurement*) can be recognized as the *average exposure level*. On the other hand, for a non-uniform magnetic field, the *three-point average exposure level* is defined by the arithmetic mean of a *three-point measurement* at heights of 0,5 m, 1,0 m and 1,5 m above ground.

Therefore, it is necessary to demonstrate that the *three-point average exposure level* represents the *average exposure level* over the entire human body. The evaluated values are intended to be compared with reference levels for general public exposure according to the ICNIRP Guidelines. According to the description below, if the consistency of the average exposure level and the three-point average exposure level is explained, comparison with the reference level is possible. But comparison with the basic restriction, which is expressed as a current density in the central nervous system, is impossible because induced current is not considered in this standard. In addition, the three-point measurement cannot evaluate the local maximum such as specified in the IEEE standards.

In this annex, the *average exposure level* is calculated under certain assumptions and is compared with the *three-point average exposure level*.

C.2 Calculation of average exposure level

To simplify the calculation, a human model is assumed. The human body model used is a spheroid whose vertical and horizontal axes are 1,5 m and 0,35 m, located 0,2 m above ground, as shown in Figure C.1 superimposed on a human body shape. The field is calculated on a 0,05 m grid of points within the spheroid, and the average of these values gives the *average exposure level* of the human body.

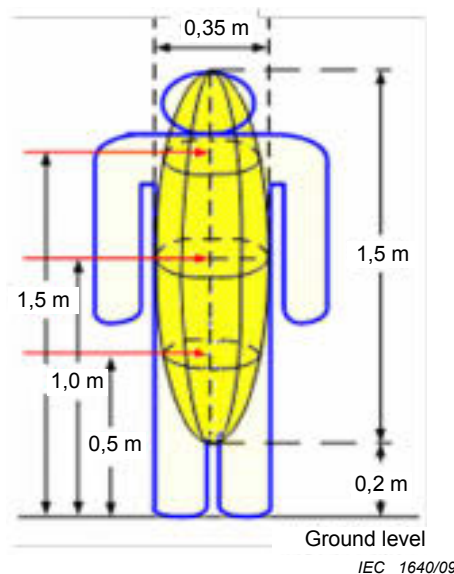


Figure C.1 – A spheroidal human model

C.3 Comparison between *average exposure level* and *three-point average exposure level*

C.3.1 Calculation of magnetic field levels

Calculation of magnetic field level is performed by using Biot-Savart's law.

C.3.2 Infinite single straight cable

An infinite single straight cable is considered as a field source, in which AC current of 500 A is flowing. The cable is located perpendicular to the ground, at distance d from the centre of the human model (see Figure C.2). The boundary is assumed at 0,2 m from the centre of the cable taking into account the conductor, insulation, space and width of the shield, etc.

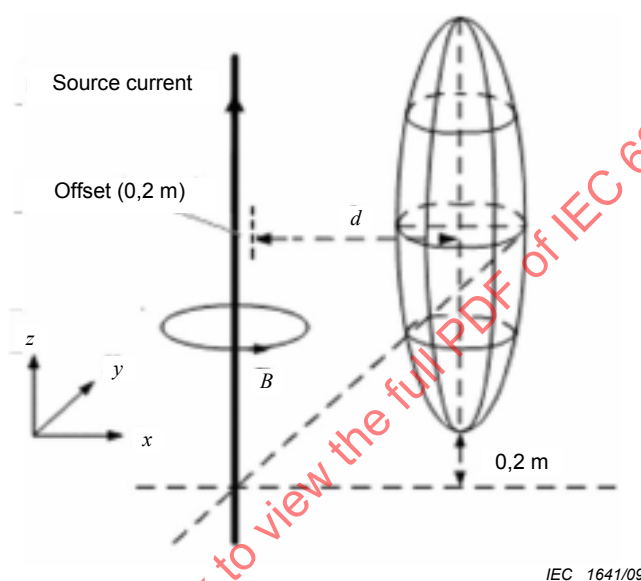


Figure C.2 – The model in the magnetic field generated by a straight cable

The calculated magnetic field distributions are given in Figure C.3.

In this case, the vertical distribution of magnetic fields is uniform, and the *three-point average exposure level* corresponds to the *average exposure level*.

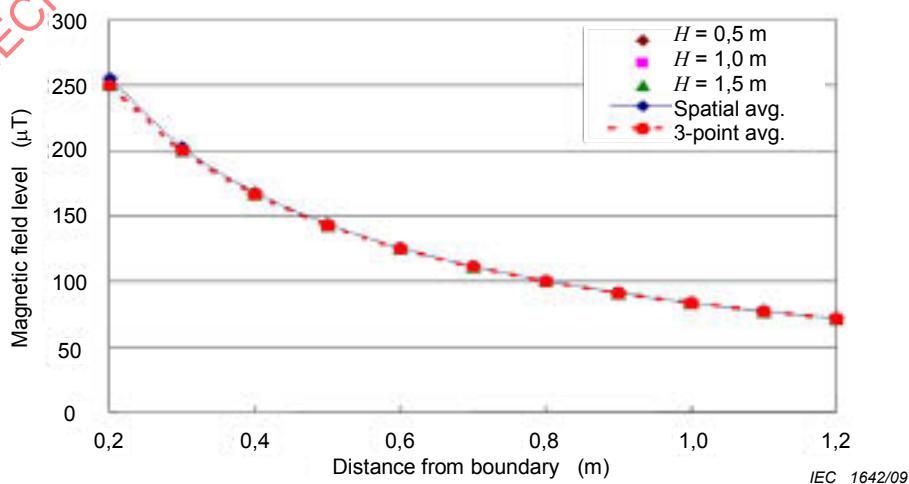
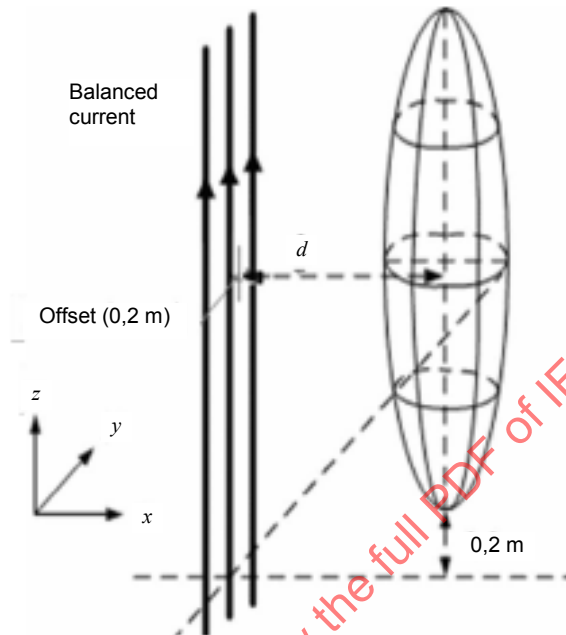


Figure C.3 – Magnetic field levels generated by a straight cable

C.3.3 Three parallel cables with balanced currents

Three infinite straight cables are considered to be a field source, in which three-phase balanced current of 500 A is flowing. The cables are located parallel to each other within the same plane perpendicular to the ground. Three different cable separations, 0,1 m, 0,2 m or 0,3 m, are considered. The human model is located at a distance of d from the centre of the cables (see Figure C.4). The boundary is assumed at 0,2 m from the centre of the cables taking into account the conductor, insulation, space and width of the shield, etc.

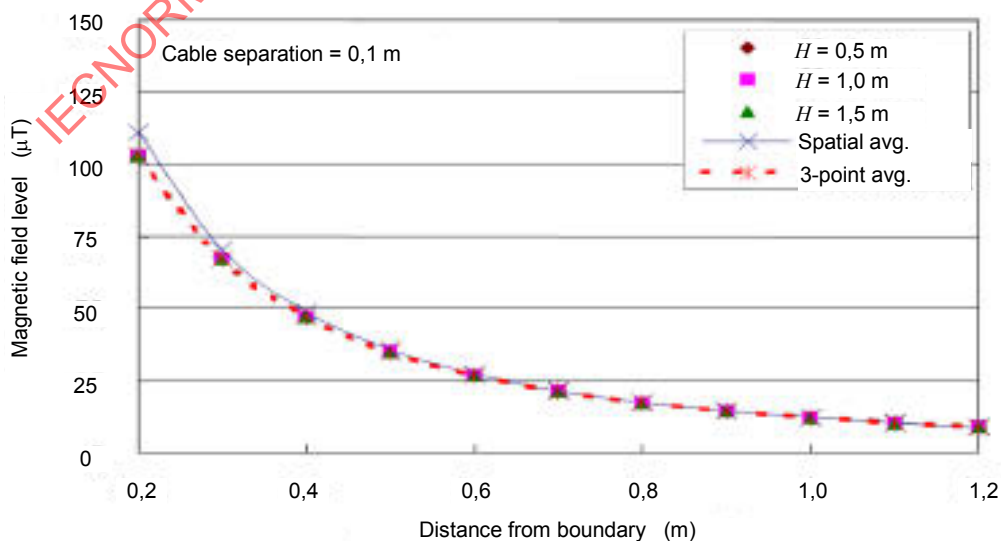


IEC 1643/09

Figure C.4 – The model in the magnetic field generated by three parallel cables

The calculated magnetic field distributions are given in Figure C.5.

In this case, the vertical distribution of magnetic fields is uniform, and the *three-point average exposure level* almost corresponds to the *average exposure level*.



IEC 1644/09

Figure C.5 – Magnetic field levels generated by three balanced parallel cables

C.3.4 Underground cable with balanced currents

An infinite straight cable is considered to be a field source, in which a three-phase balanced current of 500 A is flowing. The cable is located under ground. The cable is a twisted three-phase cable (triplex cable) with a cross section of 325 mm², a spiral pitch of 1,35 m, and a spiral radius of 22,5 mm. (see Figure C.6).

The calculated magnetic field distributions are given in Figure C.7.

In this case, although vertical non-uniformity is high, particularly when the cable is buried near ground level, the *three-point average exposure level* corresponds to the *average exposure level*.

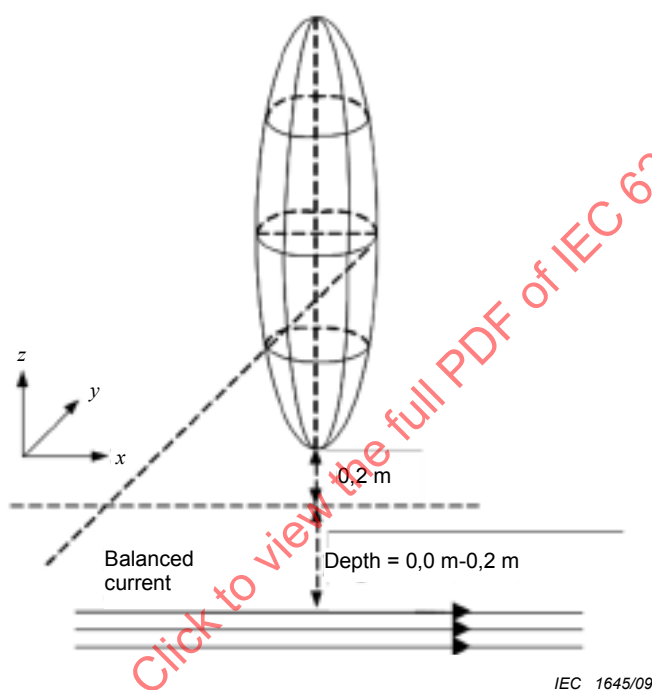


Figure C.6 – The model in the magnetic field generated by underground cables

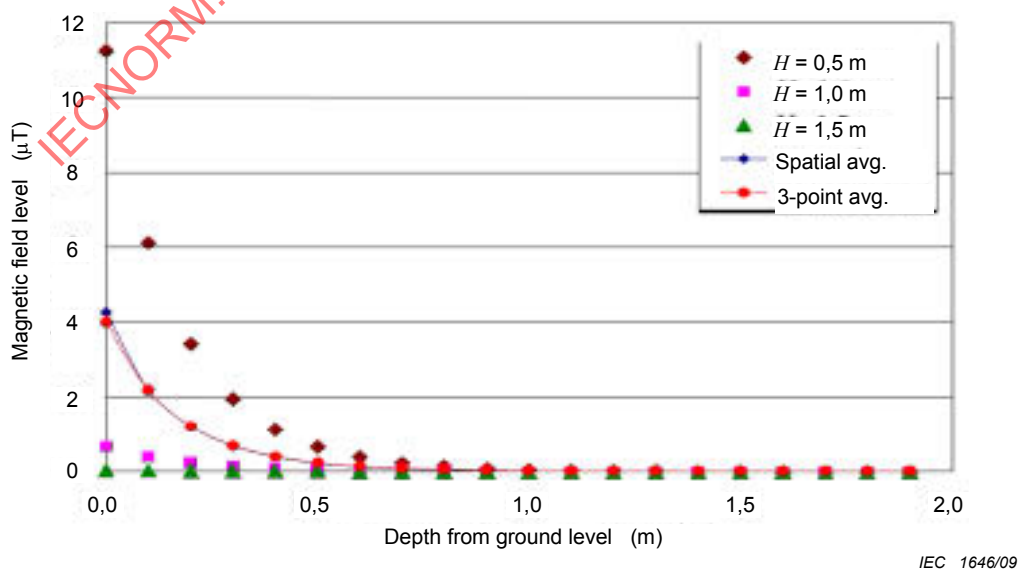


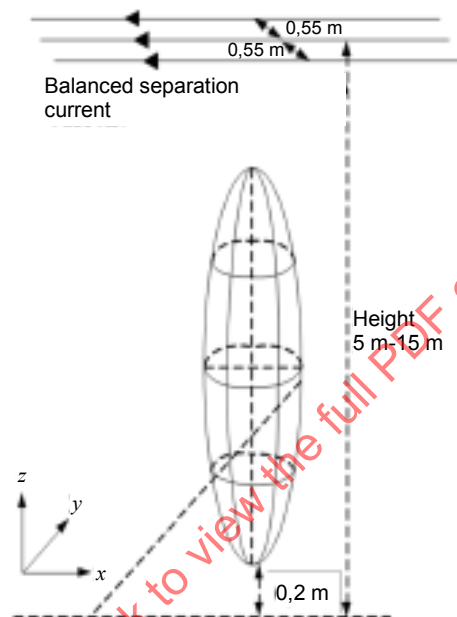
Figure C.7 – Magnetic field levels generated by underground cables

C.3.5 Overhead wires with balanced currents

Three infinite straight wires are considered as a field source, in which three-phase balanced current of 500 A is flowing. The wires are located parallel to each other within the same plane parallel to ground. 0,55 m is considered as the wire separation. The height of three wires is given as H (from 5 m to 15 m) above the ground (see Figure C.8.).

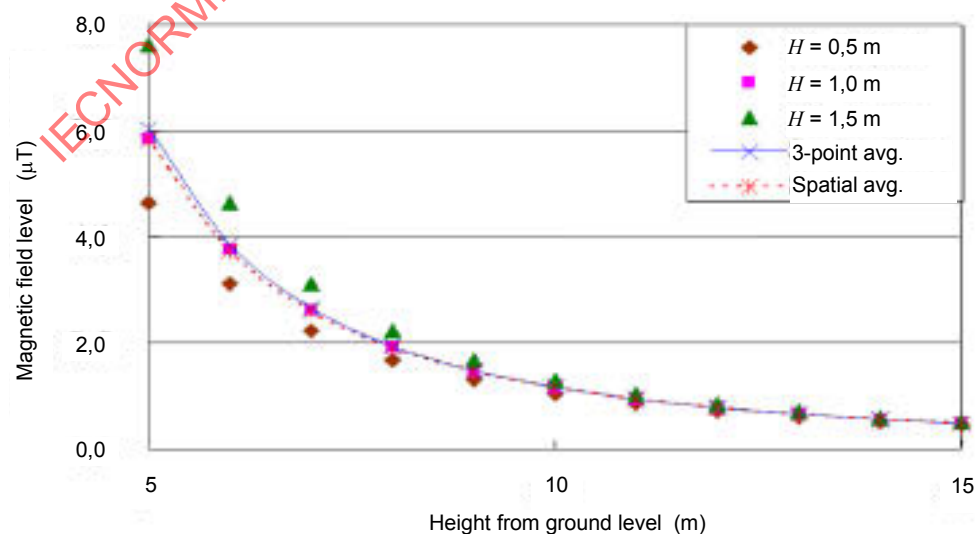
The calculated magnetic field distributions are given in Figure C.9.

In this case, the vertical distribution of magnetic fields is considered to be uniform, and the *three-point average exposure level* and/or the level obtained by a *single-point measurement* at 1,0 m above ground correspond to the *average exposure level*.



IEC 1647/09

Figure C.8 – The model in the magnetic field generated by overhead wires



IEC 1648/09

Figure C.9 – Magnetic field levels generated by balanced overhead wires

Annex D (informative)

Example of a reporting form for field measurement

An example of a reporting form for field measurement is given below.

Measurement result			
1. Date and time, weather condition, temperature, humidity: 27th July 2006, 14:00 ~ 14:15, cloudy, 25 degrees C, 60 %			
2. Type of power system (nominal voltage, load condition during measurement): underground transmission cables (77 kV, 100 A/circuit to 105 A/circuit) overhead distribution line (6 600 V / 100 V, load condition not identified)			
3. Location (address) "address" 			
4. Measurement instrument: manufacturer: XXX Co. model: ABC – MF2000 type of probe: Three-axis air-core coils; diameter of each coil not identified magnitude range: 10 nT to 1mT bandwidth: 40 Hz to 800 Hz latest calibrated date: 3rd May 2006			
5. Person who performed the measurement: "name", "affiliation" 			
6. Measurement result:			
Point No.	Measurement height [m]	Field level [μT]	Field quantity
No.1 (outdoor)	0,5 (above ground level)	0,13	resultant magnetic field
	1,0 (above ground level)	0,40	
	1,5 (above ground level)	1,17	
	-	0,57	three-point average exposure level
No.2 (indoor)	0,5 (above floor level)	0,03	resultant magnetic field
	1,0 (above floor level)	0,12	
	1,5 (above floor level)	0,65	
	-	0,27	three-point average exposure level
The measurement points are described in the attached sheet.			

7. Other field sources (in operation):

No.1: nothing _____

No.2: an air conditioner (approximately 2,0 m from the measurement point) _____
a refrigerator (approximately 5,0 m from the measurement point) _____

8. Objects to be noted:

No.1: a car, metallic poles and a carport roof _____
(approximately 6,0 m from the measurement point) _____

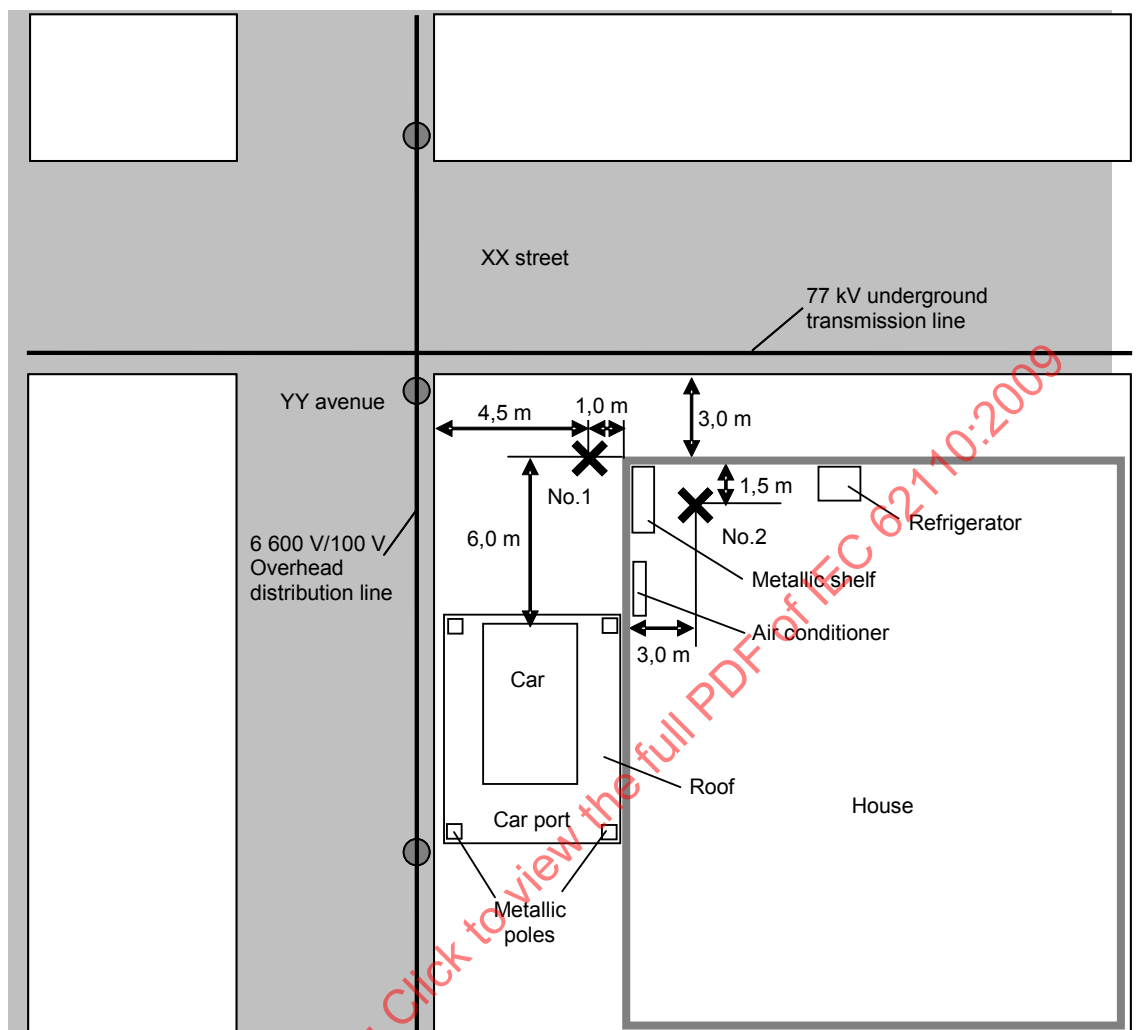
No.2: a metallic shelf (approximately 1,8 m from the measurement point) _____

9. Harmonic content:

It can be ignored. _____

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62110:2009

Plane figure



IEC 1649/09

Bibliography

- [1] ICNIRP, Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Phys.* 74, 494-522, 1998
 - [2] IEEE Std C95.6-2002, *IEEE Standard for Safety Levels With Respect to Human Exposure to Electromagnetic Fields, 0-3 kHz*
 - [3] IEC 61000-2-2:2002, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2-2: Environment – Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems*
 - [4] CEATI International, Inc., T984700-5103: *Canadian Power Quality (PQ) Survey 2000*, report, Montreal, Canada
 - [5] ICNIRP, Guidance on determining compliance of exposure to pulsed and complex non-sinusoidal waveforms below 100 kHz with ICNIRP guidelines. *Health Physics*, March 2003, Vol. 84, No. 3, 383-387
 - [6] CIGRE TF C4.2.03, *Technical guide for measurement of low frequency electric and magnetic fields near overhead power lines*. International Council on Large Electrical Systems (in press)
 - [7] IEEE Std 644-1994, *IEEE Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields from AC Power Lines*
 - [8] CIGRE TF C4.2.05, *Technical Brochure Nr 320: Characterisation of ELF Magnetic Fields*. International Council on Large Electrical Systems, April, 2007
 - [9] IEEE Std PC95.3.1, *Draft recommended practice for measurements and computations of human exposure to electric and magnetic fields, 0 Hz to 100 kHz*
-

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62110:2009

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	55
INTRODUCTION.....	57
1 Domaine d'application	58
2 Référence normative	58
3 Termes et définitions	58
4 Principe de mesure des champs électriques et magnétiques	59
4.1 Généralités.....	59
4.2 Instruments	59
4.3 Contenu harmonique	60
4.4 Enregistrement du résultat de mesure	60
4.5 Considérations liées aux mesures	61
4.5.1 Orientation du champ	61
4.5.2 Emplacements des mesures	62
4.5.3 Effets perturbateurs d'un opérateur lors de la mesure du champ électrique	62
4.5.4 Effets d'autres sources lors de la mesure du champ magnétique	62
4.5.5 Humidité lors de la mesure du champ électrique.....	62
5 Procédures fondamentales de mesure des champs électriques et magnétiques.....	63
5.1 Procédure générale.....	63
5.2 Mesure en un seul point	63
5.3 Mesure en trois points.....	63
5.4 Mesure en cinq points	64
6 Procédures de mesure pour déterminer le niveau d'exposition maximal à un champ électrique	65
6.1 Lignes aériennes	65
6.2 Câbles souterrains	66
6.3 Postes électriques et équipement du système d'alimentation électrique	66
7 Procédures de mesure pour déterminer le niveau d'exposition maximal à un champ magnétique	66
7.1 Lignes aériennes.....	66
7.2 Câbles souterrains	67
7.3 Postes électriques et équipement du système d'alimentation électrique	67
Annexe A (informative) Caractéristiques des champs électriques générés par des lignes aériennes à courant alternatif	68
Annexe B (informative) Caractéristiques des champs magnétiques générés par les systèmes électriques à courant alternatif	81
Annexe C (informative) Concept de la <i>mesure en trois points</i> concernant le <i>niveau moyen d'exposition</i>	95
Annexe D (informative) Exemple de formulaire de rapport pour la mesure de champ	100
Bibliographie.....	103
Figure 1 – Hauteurs de la <i>mesure en trois points</i>	64
Figure 2 – Mesure en cinq points	65
Figure A.1 – Distribution de charge linéaire au-dessus du sol	69
Figure A.2 – Système général à n-phases incluant le sol	70
Figure A.3 – Niveau de champ électrique sous une ligne aérienne de transport	72

Figure A.4 – Niveau de champ électrique sous une ligne aérienne de transport comprenant des faisceaux de conducteurs.....	73
Figure A.5 – Niveaux et non-uniformité du champ électrique et sous une ligne aérienne de transport de 77 kV – Effet de la hauteur des conducteurs	74
Figure A.6 – Niveaux et non-uniformité du champ électrique et sous une ligne aérienne de transport de 500 kV – Effet de la hauteur des conducteurs	75
Figure A.7 – Niveaux de champ électrique sous une ligne aérienne de transport de 77 kV – Effet de la distance entre les conducteurs.....	76
Figure A.8 – Niveaux et non-uniformité du champ électrique sous une ligne aérienne de transport de 500 kV – Effet de la distance entre les conducteurs	77
Figure A.9 – Composantes verticales et horizontales des niveaux de champ électrique sous une ligne aérienne de transport de 77 kV	78
Figure A.10 – Composantes verticales et horizontales des niveaux de champ électrique sous une ligne aérienne de transport de 500 kV.....	79
Figure A.11 – Contour du champ électrique d'une ligne aérienne de 25 kV	80
Figure A.12 – Profil de champ électrique le long du mur d'un bâtiment et à 1 m au-dessus du sol	80
Figure B.1 – Niveaux de champ magnétique sous une ligne aérienne de transport de 77 kV.....	83
Figure B.2 – Niveaux de champ magnétique sous une ligne aérienne de transport de 500 kV	84
Figure B.3 – Niveaux et non-uniformité du champ magnétique une ligne aérienne de transport de 77 kV – Effet de la hauteur des conducteurs	85
Figure B.4 – Niveaux et non-uniformité du champ magnétique sous une ligne aérienne de transport de 500 kV – Effet de la hauteur des conducteurs	86
Figure B.5 – Niveaux et non-uniformité du champ magnétique sous une ligne aérienne de transport de 77 kV – Effet de la distance entre les conducteurs	87
Figure B.6 – Niveaux et non-uniformité du champ magnétique sous une ligne aérienne de transport de 500 kV – Effet de la distance entre les conducteurs	88
Figure B.7 – Valeur efficace des composants des demi grand axe et demi petit axe des niveaux de champ magnétique sous une ligne aérienne de transport de 77 kV	89
Figure B.8 – Valeur efficace des composants des demi grand axe et demi petit axe des niveaux de champ magnétique sous une ligne aérienne de transport de 500 kV	90
Figure B.9 – Niveaux et non-uniformité du champ magnétique sous une ligne aérienne de distribution (6 600 V / 100 V)	91
Figure B.10 – Niveaux et non-uniformité du champ magnétique au-dessus de câbles souterrains – effet de la profondeur d'enfouissement.....	92
Figure B.11 – Niveaux et non-uniformité du champ magnétique au-dessus de câbles souterrains – Effet de la distance entre les câbles	93
Figure B.12 – Niveaux et non-uniformité du champ magnétique mesurés autour d'un transformateur sur socle de 6 600 V	93
Figure B.13 – Niveaux et non-uniformité du champ magnétique mesurés autour de câbles verticaux de 6 600 V	94
Figure C.1 – Modèle humain sphéroïdal.....	95
Figure C.2 – Modèle dans le champ magnétique généré par un câble droit.....	96
Figure C.3 – Niveaux de champ magnétiques générés par un câble droit.....	96
Figure C.4 – Modèle dans le champ magnétique généré par trois câbles parallèles	97
Figure C.5 – Niveaux de champ magnétiques générés par trois câbles parallèles équilibrés.....	97
Figure C.6 – Modèle dans le champ magnétique généré par des câbles souterrains	98

Figure C.7 – Niveaux de champ magnétiques générés par des câbles souterrains.....	98
Figure C.8 – Modèle dans le champ magnétique généré par des câbles aériens	99
Figure C.9 – Niveaux de champ magnétiques générés par des câbles aériens équilibrés.....	99

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62110:2009

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**CHAMPS ÉLECTRIQUES ET MAGNÉTIQUES GÉNÉRÉS PAR LES
SYSTÈMES D'ALIMENTATION A COURANT ALTERNATIF –
PROCÉDURES DE MESURE DES NIVEAUX
D'EXPOSITION DU PUBLIC**

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 62110 a été établie par le comité d'études 106 de la CEI: Méthodes d'évaluation des champs électriques, magnétiques et électromagnétiques en relation avec l'exposition humaine.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
106/177/FDIS	106/185/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.

Les termes définis à l'Article 3 apparaissent en *italique* dans tout le document.

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.

Le contenu du corrigendum de janvier 2015 a été pris en considération dans cet exemplaire.

IMPORTANT – Le logo "*colour inside*" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62110:2009

INTRODUCTION

Toutes les populations du monde sont aujourd'hui exposées aux champs électriques et magnétiques dont les niveaux ne cesseront d'augmenter avec le développement de l'industrie et des technologies. Certains pays ont mis en place des réglementations relatives à l'exposition du public à ces champs. Par conséquent, afin de pouvoir évaluer correctement les niveaux d'exposition humaine à ces champs, des procédures de mesure communes sont nécessaires, pour les professionnels des autorités nationales et des entreprises de production d'énergie électrique, comme pour le grand public.

La présente norme s'applique à la mesure des champs générés par les systèmes d'alimentation électriques à courant alternatif dans les lieux accessibles au grand public. Elle établit une procédure de mesure commune destinée à évaluer les niveaux d'exposition du corps humain aux champs électriques et magnétiques parmi le grand public.

Les valeurs obtenues servent à déterminer si les champs sont conformes aux limites d'exposition, en les comparant aux limites des champs en termes d'exposition du grand public, telles que les niveaux de référence établies dans les recommandations [1]¹⁾ de l'ICNIRP (Commission internationale sur la protection contre les rayonnements non-ionisants), les MPE (exposition maximale autorisée) de l'IEEE (Institut des ingénieurs électriciens et électroniciens) [2] ou les réglementations nationales. Si les valeurs obtenues sont supérieures au niveau de référence ou à l'exposition maximale autorisée, cela ne signifie pas obligatoirement que la restriction de base n'a pas été respectée; dans ce cas on doit utiliser d'autres méthodes pour s'assurer que la restriction de base est respectée.

Les valeurs obtenues en employant les procédures de la présente norme sont pour les conditions de charge présente au moment de la mesure. Par conséquent, dans le cas du champ magnétique, pour vérifier la conformité avec des directives d'exposition ou des règlements, il est possible que l'on doive extrapoler ces valeurs pour tenir compte de la charge maximale des circuits.

Cette norme n'est pas applicable à une exposition professionnelle associée, par exemple, à l'opération et/ou la maintenance des systèmes d'alimentation. Une telle exposition peut survenir lors de travaux à l'intérieur d'un poste de transport ou de distribution, dans une centrale électrique, dans un puits d'accès ou un tunnel pour les câbles souterrains, ou dans un poteau ou un pylône d'une ligne aérienne.

1) Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

CHAMPS ÉLECTRIQUES ET MAGNÉTIQUES GÉNÉRÉS PAR LES SYSTÈMES D'ALIMENTATION A COURANT ALTERNATIF – PROCÉDURES DE MESURE DES NIVEAUX D'EXPOSITION DU PUBLIC

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale établit des procédures de mesure des niveaux de champs électriques et magnétiques générés par des systèmes d'alimentation à courant alternatif, afin d'évaluer les niveaux d'exposition du corps humain à ces champs. La présente norme ne s'applique pas aux systèmes de transport à courant continu.

Cette Norme internationale s'applique à l'exposition humaine dans l'environnement domestique et dans les lieux qui sont accessibles au grand public.

La présente norme spécifie les procédures fondamentales destinées à mesurer des champs, et concernant l'exposition humaine, à obtenir une valeur de champ correspondant à la moyenne spatiale sur l'ensemble du corps humain.

La présente norme ne s'applique pas à l'exposition en milieu professionnel associée, par exemple, à l'exploitation et/ou la maintenance des systèmes d'alimentation. Une telle exposition peut avoir lieu lorsqu'on travaille dans un poste électrique de distribution ou de transport, une centrale, dans un puits d'accès ou un tunnel pour câbles souterrains, ou sur un poteau ou un pylône de ligne aérienne.

2 Références normatives

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

CEI 61786, *Mesure de champs magnétiques et électriques à basse fréquence dans leur rapport à l'exposition humaine – Prescriptions spéciales applicables aux instruments et recommandations pour les procédures de mesure*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent. Des unités SI acceptées au niveau international sont utilisées tout au long de la norme.

NOTE La distinction entre "la densité de flux magnétique" et "l'intensité du champ magnétique" est appropriée seulement lorsque l'on considère les champs magnétiques dans des matériels magnétiques. Dans l'air, il est commun d'employer "champ magnétique" comme terme générique pour couvrir ces deux quantités.

3.1

mesure en un seul point

procédure destinée à mesurer le niveau de champ à une hauteur spécifiée, utilisée pour les champs uniformes

NOTE Les conditions pour lesquelles le champ peut être considéré comme uniforme ou non- uniforme sont données dans la section 5.1.

3.2**mesure en trois points**

procédure utilisée pour les champs non uniformes et destinée à mesurer les niveaux de champ à un emplacement unique et à trois hauteurs spécifiées

3.3**mesure en cinq points**

procédure destinée à mesurer les niveaux de champ à cinq points à une hauteur spécifiée, utilisée pour les champs non uniformes générés par des sources de champ au-dessous du sol ou du plancher

3.4**niveau moyen d'exposition**

moyenne spatiale, sur l'ensemble du corps humain, des champs auxquels un individu est exposé

3.5**niveau moyen d'exposition en trois points**

moyenne arithmétique des trois valeurs obtenues lors de la *mesure en trois points* ou des trois valeurs les plus élevées obtenues lors de la *mesure en cinq points*

NOTE Cette moyenne est utilisée comme estimation du *niveau moyen d'exposition* à un emplacement unique.

3.6**niveau maximal d'exposition**

valeur maximale des mesures en un seul point ou des *niveaux moyens d'exposition* dans la zone d'intérêt

3.7**système d'alimentation électrique**

système composé de lignes aériennes et de câbles souterrains, de postes électriques et d'autres équipements de distribution et de transport électrique. Des systèmes ferroviaires sont couverts par une norme spécifique et sont donc exclus de la présente norme.

4 Principe de mesure des champs électriques et magnétiques**4.1 Généralités**

Des informations et exigences générales plus détaillées concernant la mesure des champs électriques et magnétiques sont données dans la CEI 61786 et dans d'autres documents techniques tels que les brochures CIGRE [6] [8] et les guides IEEE [7] [9].

4.2 Instruments

Les instruments utilisés pour mesurer les champs électriques et magnétiques doivent satisfaire aux exigences relatives à l'étalonnage et à la spécification données dans la CEI 61786 ou une autre norme nationale ou internationale sur ce sujet. Il convient d'utiliser ces instruments dans des conditions adaptées, en particulier concernant l'immunité électromagnétique, la température et l'humidité, recommandées par le fabricant.

Un instrument à trois axes mesure les valeurs efficaces du champ résultant F_r . Un instrument à axe unique peut être utilisé pour obtenir F_r en mesurant F_x , F_y , et F_z et en utilisant l'équation (1).

$$F_r = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \quad (1)$$

où

F_x , F_y , et F_z sont les valeurs efficaces des composantes orthogonales à trois axes des champs électriques ou magnétiques.

Lorsque le champ ne présente aucun harmonique, F_r peut également être obtenu en mesurant $F_{\max}$ et $F_{\min}$ et en utilisant l'équation (2).

$$F_r = \sqrt{F_{\max}^2 + F_{\min}^2} \quad (2)$$

où

$F_{\max}$ est la valeur efficace maximale du demi grand axe de l'ellipse du champ;

$F_{\min}$ est la valeur efficace minimale du demi petit axe de l'ellipse du champ.

4.3 Contenu harmonique

Les harmoniques sont en général provoqués par un équipement non linéaire. Les harmoniques peuvent être présents sur les lignes de transport et de distribution. En général, la distorsion de tension harmonique totale des systèmes de distribution électriques à courant alternatif est (voir [3],[4]) suffisamment basse pour ne pas affecter significativement l'exposition et conséquemment il n'est généralement pas nécessaire de quantifier le contenu harmonique. Les systèmes de transport à courant alternatif ont des contenus harmoniques plus faibles que les réseaux de distribution.

Lorsqu'il s'avère impératif de ne pas ignorer le contenu harmonique des champs, il convient d'utiliser les méthodes de mesures existantes pour l'évaluer selon la CEI 61786. L'évaluation de l'exposition aux fréquences harmoniques des champs doit être faite selon la procédure indiquée dans la norme de sécurité (par exemple [5]) applicable.

4.4 Enregistrement du résultat de mesure

Dans le rapport de mesure, il convient de consigner les informations suivantes:

- la date, l'heure et les conditions climatiques (par exemple l'ensoleillement, la pluie, la neige et le vent) lors de la réalisation de la mesure
- la température et l'humidité (pour la mesure d'un champ électrique)
- le type (ligne aérienne, câble, poste électrique, etc.) et la tension nominale du système d'alimentation électrique, la configuration et la disposition par phase des conducteurs aériens et/ou des câbles souterrains générant les champs mesurés, le cas échéant
- les informations relatives aux instruments [fabricant de l'instrument, modèle, taille et géométrie de la sonde, type de sonde ou de mesureur (mesureur sans référence à la terre, mesureur avec référence à la terre, mesureur de flux magnétique, sonde à bobine, sonde à effet Hall), plage d'amplitude, largeur de bande passante, date du dernier étalonnage], si disponible
- l'estimation de l'incertitude de mesure

NOTE 1 Il est possible d'estimer l'incertitude de mesure à l'aide d'une procédure proposée par exemple par la CEI 61786.

- la personne/l'entreprise qui effectue la mesure
- la (les) hauteur(s), par rapport au sol ou au plancher, à laquelle est effectué la mesure
- l'emplacement de mesure par rapport aux systèmes d'alimentation électrique d'intérêt
- l'emplacement de mesure dans la pièce lorsque la mesure est effectuée dans un bâtiment
- les niveaux de champs mesurés (électrique ou magnétique)
- l'indication précise de la quantité de champ enregistrée, par exemple, le champ résultant, les valeurs efficaces de chaque composante orthogonale du champ selon les trois axes ou les valeurs efficaces maximales ou minimales du demi grand axe ou du demi petit axe de ce champ

- le type, la position dans l'espace et les conditions de fonctionnement des autres sources de champ près du point de mesure
- le croquis et/ou la photo du site de mesure avec l'emplacement de mesure et les autres sources de champ
- le type, la catégorie de matériau, les dimensions et la position dans l'espace des objets permanents et mobiles pour la mesure du champ électrique
- le type, la catégorie de matériau, les dimensions et la position dans l'espace des objets permanents et mobiles qui contiennent des matériaux magnétiques ou des conducteurs non magnétiques pour la mesure du champ magnétique
- les valeurs de courant circulant au moment où la mesure du champ magnétique est effectuée, si possible et pertinent

NOTE 2 Il pourrait y avoir quelques cas pour lesquels ces valeurs de courants seraient difficiles à obtenir. De plus, pour les systèmes de distribution basse tension, le courant net peut être le paramètre plus approprié.

NOTE 3 Une façon possible d'étudier la variation de la charge consiste à employer un deuxième appareil de mesure du champ magnétique à un emplacement fixe (voir [6]).

- les contenus harmoniques, s'ils sont significatifs.

Les informations ci-dessus sont importantes lorsque l'on compare les résultats de mesure aux niveaux calculés et/ou à d'autres résultats de mesure.

Un exemple de rapport de mesures est donné à l'Annexe D.

4.5 Considérations liées aux mesures

4.5.1 Orientation du champ

4.5.1.1 Champ électrique

Les instruments de mesure du champ électrique possèdent un ou trois axes. L'utilisation d'un instrument à trois axes est conseillée.

Le champ électrique adjacent à une surface conductrice est normal à la surface. Par conséquent, il est possible d'ignorer la composante horizontale du champ électrique, en particulier lorsque ce champ est généré par des lignes aériennes, près de la surface du sol. Une mesure à axe unique (composante verticale) est par conséquent suffisante près du sol. Des exemples de niveaux calculés de champ électrique à une hauteur de 1,0 m au-dessus du sol sous des lignes aériennes sont présentés à l'Annexe A.3.3. Ils montrent qu'à 1,0 m au-dessus du sol, la composante verticale est identique à la résultante (voir les Figures A.9 et A.10).

Une attention particulière doit être accordée en présence d'objets conducteurs (voir le paragraphe 4.5.2.1) ou lorsque la distance entre le conducteur et le sol est faible.

4.5.1.2 Champ magnétique

Il convient que les mesures de champ magnétique soient effectuées à l'aide d'instruments à trois axes et qu'elles soient obtenues à partir du champ résultant, sauf s'il existe une raison particulière d'utiliser des instruments à axe unique. Les raisons justifiant l'utilisation d'instruments à axe unique comprennent le désir de connaître la direction du champ et la valeur efficace maximale du demi grand axe de l'ellipse de champ, le désir de déterminer l'orientation et la forme de l'ellipse du champ magnétique ainsi que les cas où la direction d'un champ à polarisation linéaire est déjà connue; cependant, ces cas ne sont pas traités dans la présente norme.

Lorsqu'un instrument adapté à trois axes n'est pas disponible, il est possible d'utiliser un instrument à axe unique pour déterminer le champ résultant à l'aide de l'Équation (1) ou de l'Équation (2), à condition que le niveau du champ reste stable pendant le temps nécessaire pour réaliser les mesures. Dans ce cas, l'utilisation d'un montage composé de matériaux non

conducteurs pour orienter le capteur dans trois directions orthogonales permet d'accélérer le processus de mesure.

NOTE Les instruments à trois axes mesurent souvent les trois composants séquentiellement ce qui doivent être pris compte quand le champ varie.

En général, la valeur efficace du demi petit axe de l'ellipse de champ sous des lignes de transport est bien plus petite que celle du demi grand axe. Dans ce cas, il est possible d'utiliser des instruments à axe unique (voir B.3.3).

4.5.2 Emplacements des mesures

4.5.2.1 Champ électrique

Afin de prendre des mesures du niveau de champ électrique représentant le champ non perturbé à un emplacement donné, il convient que la zone soit, dans la mesure du possible, exempte d'autres lignes électriques, de pylônes, d'arbres, de barrières, de hautes herbes ou d'autres irrégularités. Il est préférable que l'emplacement soit relativement plat. Il convient de noter que l'influence de la végétation sur le niveau de champ électrique peut être importante. En général, le champ augmente au-dessus de la végétation isolée et s'atténue sur les côtés. La perturbation du champ peut dépendre appréciablement de la teneur en eau de la végétation.

Lorsque cela est possible, il convient de retirer tous les objets mobiles. Si cela s'avère impossible, il convient alors que la distance entre le capteur et l'objet soit supérieure à trois fois la hauteur de l'objet (objet non permanent) ou à 1,0 m (objet permanent) [6].

Si ces recommandations ne peuvent être remplies, cela doit être noté clairement dans le rapport de mesure.

4.5.2.2 Champ magnétique

Afin de mesurer la valeur du champ non perturbé, il convient que les objets non permanents contenant des matériaux magnétiques ou des conducteurs non magnétiques soient situés à une distance égale à au moins trois fois les plus grandes dimensions de l'objet par rapport au point de mesure. Il convient que la distance entre le capteur et les objets magnétiques permanents ne soit pas inférieure à 1,0 m afin de pouvoir mesurer précisément le champ non perturbé ambiant [7].

Si ces recommandations ne peuvent être remplies, cela doit être noté clairement dans le rapport de mesure.

4.5.3 Effets perturbateurs d'un opérateur lors de la mesure du champ électrique

Afin de réduire la perturbation d'un champ électrique mesuré, il convient que la distance entre l'instrument de mesure du champ électrique et l'opérateur soit d'au moins 1,5 m et une distance de 3 m est recommandée [6]. Ceci peut être obtenu à l'aide d'une fibre optique entre le moniteur et la sonde, qui doit être placée sur un support non conducteur.

4.5.4 Effets d'autres sources lors de la mesure du champ magnétique

Les sources de champ magnétiques autres que les systèmes d'alimentation électrique situées près du point de mesure, doivent être, si possible, éteintes ou déplacés afin de réduire le plus possible leur influence sur le résultat de la mesure. S'il n'est pas possible d'éteindre ou de retirer ces sources, il convient d'enregistrer les informations pertinentes les concernant, par exemple le type de source, l'emplacement relatif au point de mesure, etc.

4.5.5 Humidité lors de la mesure du champ électrique

La mesure du champ électrique peut être perturbée si l'humidité relative est supérieure à 70 % en raison de l'effet de condensation sur la sonde et le support [6]. Puisque l'effet de l'humidité

dépend du mesureur de champ, il convient de vérifier avant la mesure l'aptitude de ce mesureur à fonctionner correctement dans ces conditions.

5 Procédures fondamentales de mesure des champs électriques et magnétiques

5.1 Procédure générale

Différentes procédures utilisant une mesure à un, trois ou cinq points sont spécifiées ici. Si les valeurs obtenues se situent toutes au-dessous du niveau de référence ou de l'exposition maximale autorisée, aucun autre traitement n'est nécessaire pour démontrer la conformité.

Lorsque l'on mesure les niveaux de champ sous des lignes aériennes, le champ près du sol est considéré comme uniforme (voir justification en B.3.2.1); par conséquent, des mesures en un seul point sont suffisantes. D'autres endroits comme des lieux publics situés à proximité de câbles souterrains, de postes électriques en bâtiment etc., sont considérés comme ayant des champs non uniformes et des mesures en trois ou en cinq points doivent être utilisées si nécessaire.

5.2 Mesure en un seul point

Lorsque le champ est considéré comme uniforme, il convient de mesurer le niveau de champ électrique ou magnétique au point d'intérêt à une distance d'1,0 m au-dessus du sol ou du plancher du bâtiment. Ce niveau mesuré est reconnu comme le *niveau moyen d'exposition* (voir les annexes A et B).

Si nécessaire, il est possible d'utiliser d'autres hauteurs; dans ce cas, il convient alors d'enregistrer de manière explicite la hauteur réelle de mesure dans le rapport de mesures.

5.3 Mesure en trois points

Lorsque le champ est considéré comme non uniforme, il convient de mesurer le niveau de champ électrique et magnétique dans la position d'intérêt à trois hauteurs, à savoir 0,5 m, 1,0 m et 1,5 m au-dessus du sol ou du plancher du bâtiment. A côté d'un équipement électrique ou dans un bâtiment, il convient d'effectuer la mesure à une distance horizontale de 0,2 m de la surface, de la bordure ou d'un mur.

Dans les cas où la hauteur de l'équipement est inférieure à 1,5 m, les mesures en trois points doivent être effectuées à des hauteurs équidistantes; la hauteur la plus importante étant située à la même hauteur que le sommet de l'équipement (voir la Figure 1).

Si nécessaire, il est possible d'utiliser d'autres hauteurs; dans ce cas, il convient alors d'enregistrer de manière explicite les hauteurs réelles de mesure dans le rapport de mesures.

NOTE Dans le cas où la norme de sécurité ne permet pas de faire la moyenne spatial (comme [2]), alors le maximum des trois valeurs mesurées doit être employé.

Le *niveau moyen d'exposition en trois points* est reconnu comme le *niveau moyen d'exposition* (voir l'annexe C).

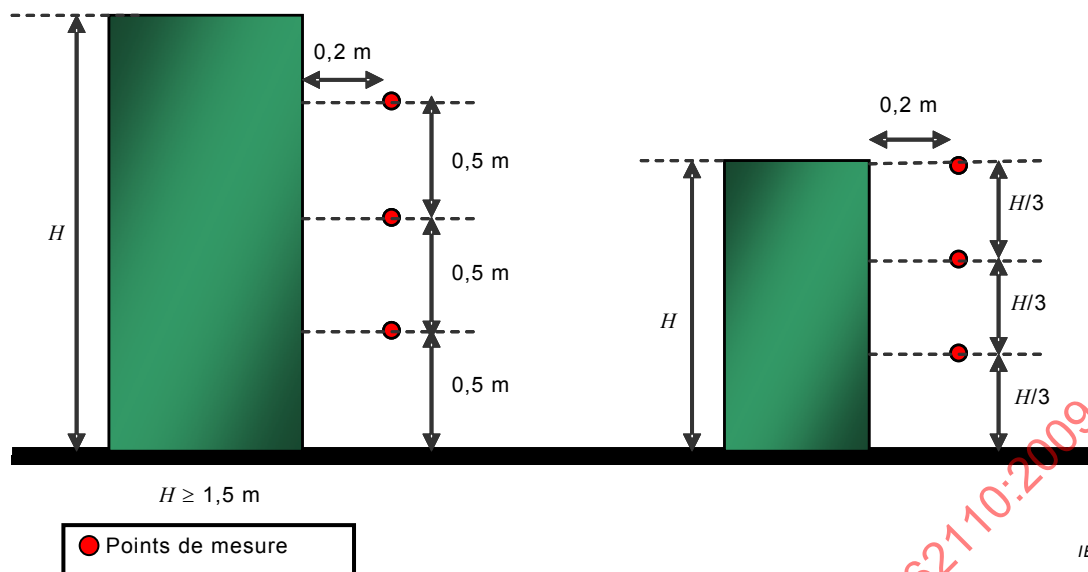


Figure 1 – Hauteurs de la mesure en trois points

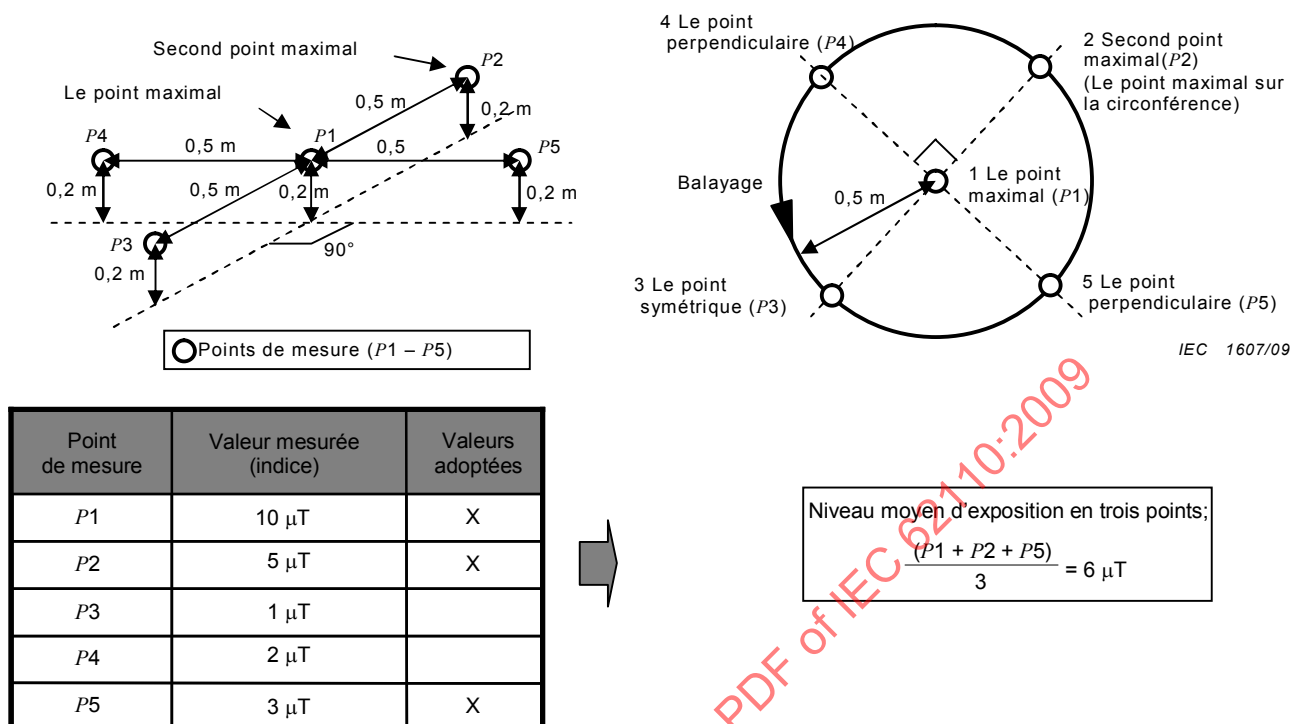
5.4 Mesure en cinq points

Lorsque des sources de champ se trouvent au-dessous du sol ou du plancher et qu'il existe une possibilité raisonnable qu'une personne puisse être étendue au dessus, il convient d'effectuer comme suit une mesure en cinq points.

Il convient de procéder à un balayage du niveau de champ magnétique à une hauteur de 0,2 m au-dessus du sol ou du plancher afin d'obtenir la valeur et la position du champ maximal. Il convient de faire un balayage sur un cercle de rayon 0,5 m centré sur la position maximale pour trouver la valeur et la position du second champ maximal. Il convient de réaliser une autre mesure en un point symétrique par rapport au second champ maximal. Il convient de procéder à deux mesures supplémentaires, le long d'une droite perpendiculaire à celle passant par les trois points de mesure précédents, à des distances de 0,5 m de chaque côté de la position du champ maximal (voir la Figure 2). La moyenne des trois lectures les plus élevées sur les cinq doit être calculée. Cette moyenne est reconnue comme le *niveau moyen d'exposition*.

NOTE En pratique, il peut être nécessaire d'adapter la procédure pour tenir compte des meubles qui ne peuvent pas être enlevés, des murs de la pièce, etc.

Dans les cas où une personne ne peut pas être étendue sur le sol, la *mesure normale en trois points* doit être utilisée.



NOTE Les droites en pointillés représentent le niveau du sol ou du plancher.

Figure 2 – Mesure en cinq points

6 Procédures de mesure pour déterminer le niveau d'exposition maximal à un champ électrique

6.1 Lignes aériennes

Les niveaux de champ électrique sous une ligne aérienne dépendent de nombreux facteurs, notamment la distance des conducteurs, leur séparation, la disposition de phase ainsi que la tension de la ligne (voir l'annexe A).

Le niveau de champ électrique le plus important se situe sous les conducteurs au point de la portée où les conducteurs sont le plus près du sol. Par conséquent, afin d'obtenir la position où le niveau de champ est maximal, il convient de mesurer d'abord le niveau de champ électrique à 1,0 m au-dessus du sol le long d'un trajet parallèle à la ligne aérienne, sous les conducteurs si possible, à des intervalles adaptés (profil longitudinal). Pour trouver si une autre crête est présente, il convient ensuite d'effectuer une mesure à 1,0 m au-dessus du sol le long du chemin perpendiculaire à la ligne aérienne (profil latéral) à l'endroit où le profil longitudinal est maximum.

Lorsque, dans la zone d'intérêt, la position où le niveau de champ est maximal est déjà connue, il convient de procéder à une *mesure en un seul point* à cette position.

Si la zone d'intérêt n'est pas surplombée par un conducteur, le processus pour obtenir le *niveau d'exposition maximal* est identique, mais il convient que le profil longitudinal soit parallèle à la ligne.

Il existe des références, comme [6] et [7], qui donnent des procédures détaillées pour obtenir les profils des niveaux de champ électrique autour d'une ligne aérienne.

6.2 Câbles souterrains

Les câbles souterrains ne produisent aucun champ électrique au-dessus du sol; la mesure du champ électrique n'est donc pas nécessaire.

6.3 Postes électriques et équipement du système d'alimentation électrique

A l'exception des lignes aériennes (voir 6.1) et des postes électriques avec des lignes aériennes reliées au poste, l'équipement du système d'alimentation électrique ne produit pas de champs électriques dans les lieux accessibles au public; les mesures de champ électrique ne sont donc pas nécessaires.

Pour les postes électriques avec des lignes aériennes reliées au poste, il convient que le niveau de champ électrique soit mesuré à une hauteur d'1,0 m au-dessus du sol et à 0,2 m du poste et autour de celui-ci, à des intervalles adaptés, pour obtenir la position où le niveau de champ est maximal dans la zone d'intérêt.

Il convient d'effectuer une *mesure en trois points* (voir 5.3), à l'endroit où se situe le niveau de champ maximal.

Il convient de procéder à une *mesure en trois points* à l'endroit où la position du champ maximal est déjà connue dans la zone d'intérêt.

Pour les postes électriques, les champs maximaux apparaissent habituellement sous les lignes aériennes à leur entrée dans le poste. Il convient que la mesure du champ électrique sous ces lignes respecte la procédure décrite en 6.1.

7 Procédures de mesure pour déterminer le niveau d'exposition maximal à un champ magnétique

7.1 Lignes aériennes

Les niveaux de champ magnétique sous une ligne aérienne dépendent de nombreux facteurs, notamment la distance des conducteurs, leur séparation, la disposition de phase ainsi que les courants dans la ligne (voir l'Annexe B).

Le niveau de champ magnétique le plus important se situe sous les conducteurs, au point de la portée où les conducteurs sont le plus près du sol. Par conséquent, afin d'obtenir la position où le niveau de champ est maximal, il convient de mesurer d'abord le niveau de champ magnétique à 1,0 m au-dessus du sol le long d'un trajet parallèle à la ligne aérienne, sous les conducteurs si possible, à des intervalles adaptés (profil longitudinal). Pour trouver si une autre crête est présente, il convient ensuite d'effectuer une mesure à 1,0 m au-dessus du sol le long du chemin perpendiculaire à la ligne aérienne (profil latéral) à l'endroit où le profil longitudinal est maximum.

Le champ magnétique sous une ligne aérienne est considéré uniforme (voir 5.1).

Lorsque, dans la zone d'intérêt, la position où le niveau de champ serait maximal est déjà connue, il convient de procéder à une *mesure en un seul point* à cette position.

Si la zone d'intérêt n'est pas surplombée par un conducteur, le processus pour obtenir le *niveau d'exposition maximal* est identique, mais il convient que le profil longitudinal soit parallèle à la ligne.

Il existe des références, comme [6] et [7], qui donnent des procédures détaillées pour obtenir les profils des niveaux de champ magnétique autour d'une ligne aérienne.

7.2 Câbles souterrains

Il convient de mesurer le niveau de champ magnétique à une hauteur de 1,0 m au-dessus du sol, le long d'un trajet perpendiculaire aux câbles souterrains, à des intervalles adaptés (profil latéral). Il convient d'effectuer une *mesure en trois points* (voir 5.3), à l'endroit où se situe le niveau de champ maximal.

Le champ magnétique est à peu près constant le long des câbles souterrains, sauf dans certains endroits particuliers comme une chambre d'épissure, une cellule de raccordement ou un endroit présentant un changement de profondeur. Ces endroits peuvent être repérés en prenant des mesures le long du trajet des câbles, en cherchant le champ maximal à une hauteur de 1,0 m (profil longitudinal). A l'endroit où le niveau de champ maximal est repéré, il convient d'effectuer la procédure décrite ci-dessus (profil latéral).

S'il existe des zones d'intérêt particulières, il est possible de répéter la mesure à l'aide de la procédure décrite ci-dessus (profil longitudinal et latéral).

Lorsque, dans la zone d'intérêt, la position où le niveau de champ serait maximal est déjà connue, il convient de procéder à une *mesure en un seul point* à cette position.

7.3 Postes électriques et équipement du système d'alimentation électrique

Il convient de mesurer le niveau de champ magnétique à une hauteur de 1,0 m au-dessus du sol, autour de l'équipement ou des postes électriques, à une distance horizontale de 0,2 m par rapport à sa surface ou sa bordure, à des intervalles adaptés. Dans les cas où la hauteur de l'équipement est inférieure à 1,5 m, il convient de mesurer le niveau de champ magnétique au sommet de l'équipement et non à 1,0 m. Il convient d'effectuer une *mesure en trois points* (voir 5.3), à l'endroit où se situe le niveau de champ maximal.

Il convient de procéder à une *mesure en trois points* à l'endroit où la position du champ maximal est déjà connue dans la zone d'intérêt.

Pour les postes électriques, les niveaux de champ maximaux apparaissent habituellement sous les lignes aériennes ou au-dessus de câbles souterrains à leur entrée dans le poste. Il convient dans ces cas que la mesure du champ magnétique respecte les procédures décrites respectivement en 7.1 et 7.2.

Il est possible de trouver localement des niveaux de champ magnétique plus élevés plus près de la surface de l'équipement ou de la bordure du poste électrique. Cependant, ces niveaux ne sont pas considérés comme représentatifs du *niveau moyen d'exposition* du grand public dans des situations normales.

Dans les cas où la zone située au-dessus d'un poste intérieur est occupée et où une personne peut être étendue sur le plancher, il convient d'effectuer une *mesure en cinq points* (voir 5.4).

Dans les cas où une personne ne peut pas être étendue sur le plancher, il convient d'effectuer une *mesure normale en trois points*.

Annexe A (informative)

Caractéristiques des champs électriques générés par des lignes aériennes à courant alternatif

A.1 Généralités

En général, seules les lignes aériennes à plus haute tension produisent des niveaux de champ électrique qui sont à prendre en compte. Les niveaux de champ électrique sont moins élevés près des lignes aériennes à basse tension, des équipements de distribution et autour des postes électriques. Les câbles souterrains sont blindés et par conséquent ne produisent pas de champ électrique externe.

La présente annexe donne des exemples de résultats du calcul des profils spatiaux des champs électriques générés par les lignes aériennes de transport et de distribution.

A.2 Procédure générale de calcul du niveau de champ électrique

Le champ électrique E en un point situé à une distance r d'un conducteur parallèle ayant une densité de charge linéaire λ est exprimé comme suit:

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \frac{1}{r} \quad (\text{A.1})$$

où

ϵ_0 est la permittivité du vide, égale à $8,854 \times 10^{-12}$ F/m.

Afin de tenir compte de la conductivité du sol, le calcul de E en un point donné (P) peut être effectué à l'aide d'une charge image équivalente à $-\lambda$ et à une hauteur $-h$, comme le montre la Figure A.1.

$$E_1 = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \frac{1}{R_1} \quad \text{et} \quad E_2 = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \frac{1}{R_2} \quad (\text{A.2})$$

où

E_1 est l'intensité de champ électrique au point P provoquée par la charge linéaire λ ;

E_2 est l'intensité de champ électrique au point P provoquée par la charge linéaire $-\lambda$;

R_1 est la distance entre le point P et la charge linéaire λ ;

R_2 est la distance entre le point P et la charge linéaire $-\lambda$.

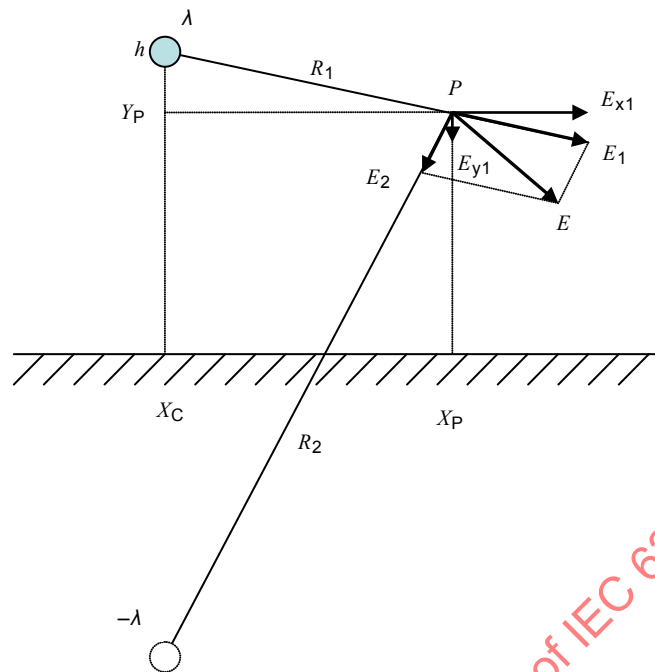
$$R_1 = \sqrt{(X_C - X_P)^2 + (h - Y_P)^2} \quad \text{et} \quad R_2 = \sqrt{(X_C - X_P)^2 + (h + Y_P)^2} . \quad (\text{A.3})$$

où

Y_P est la hauteur du point P.

X_C est la localisation horizontale des charges linéaires λ et $-\lambda$;

X_P est la localisation horizontale du point P.



IEC 1608/09

Figure A.1 – Distribution de charge linéaire au-dessus du sol

Les vecteurs de champ E_1 et E_2 peuvent être décomposés en composantes orthogonales:

$$E_{1x} = E_1 \frac{X_P - X_C}{R_1} \text{ et } E_{1y} = -E_1 \frac{h - Y_P}{R_1} \quad (\text{A.4})$$

$$E_{2x} = -E_2 \frac{X_P - X_C}{R_2} \text{ et } E_{2y} = -E_2 \frac{h + Y_P}{R_2} \quad (\text{A.5})$$

Enfin, les composantes du vecteur de champ E sont:

$$E_x = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \left[\frac{X_P - X_C}{R_1^2} - \frac{X_P - X_C}{R_2^2} \right] \text{ et } E_y = -\frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \left[\frac{h - Y_P}{R_1^2} + \frac{h + Y_P}{R_2^2} \right] \quad (\text{A.6})$$

L'intensité de champ E au point P est

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} \quad (\text{A.7})$$

Le potentiel V à la surface du conducteur donné par:

$$V = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{2h}{a} \quad (\text{A.8})$$

Où a est le rayon du conducteur.

Comme le montre la Figure A.2, dans le cas de conducteurs multiples, l'équation (A.8) devient une matrice.

$$[P][\lambda] = [V] \quad (\text{A.9})$$

La matrice $[P]$ est la matrice de coefficients potentiels où

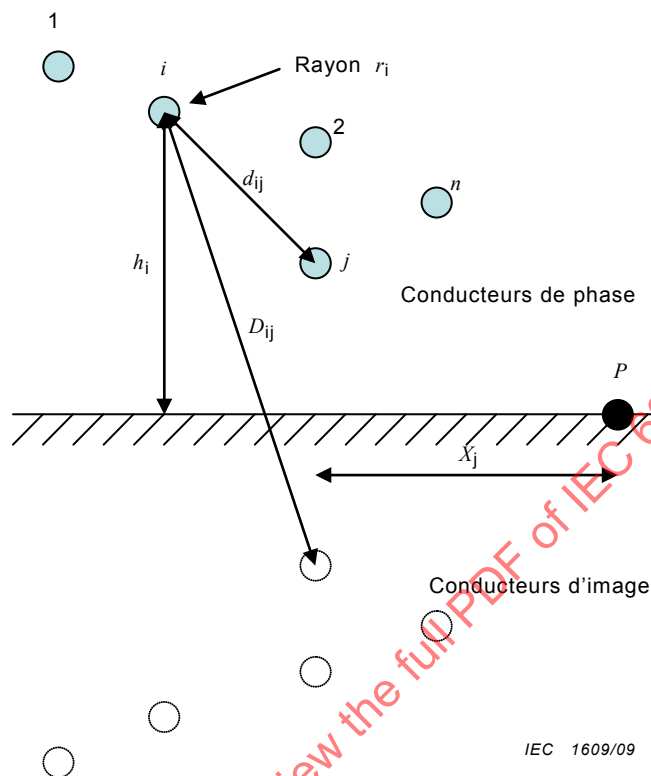


Figure A.2 – Système général à n-phases incluant le sol

$$P_{ii} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln\left(\frac{2h_i}{r_i}\right) \quad \text{pour } i = 1 \text{ à } n \quad (\text{A.10})$$

$$P_{ij} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln\left(\frac{D_{ij}}{d_{ij}}\right) \quad \text{pour } i \neq j \quad (\text{A.11})$$

où

- n est le nombre de conducteurs
- D_{ij} est la distance entre le conducteur i et l'image du conducteur j
- d_{ij} est la distance entre les conducteurs i et j
- r_i est le rayon du conducteur i .

Lorsqu'on calcule les niveaux de champ électrique sous une ligne aérienne, il est possible d'utiliser ce système de distribution de charge linéaire. Pour une ligne électrique CA, le conducteur i correspond à chaque conducteur de phase. Lorsque le conducteur de phase i se compose d'un faisceau de sous-conducteurs, qui possède un nombre de sous-conducteurs n_b et dans lequel chaque sous-conducteur se situe à chaque sommet d'un polygone régulier, r_i peut être remplacé par un rayon géométrique équivalent r_{ei} (voir la Figure A.4).

$$r_{ei} = \left[n_b r_0 \left(\frac{S}{2 \sin(\pi/n_b)} \right)^{n_b-1} \right]^{\frac{1}{n_b}} \quad (\text{A.12})$$

où

- n_b est le nombre de sous-conducteurs
- r_0 est le rayon du sous-conducteur
- S est l'espacement avec les sous-conducteurs adjacents.

Les charges λ_i peuvent être déterminées à l'aide de la matrice (A.9).

Les composantes E_{xi} et E_{yi} du vecteur de champ généré par le conducteur i au point P sont:

$$E_{xi} = \frac{\lambda_i}{2\pi\epsilon_0} \left[\frac{X_P - X_{ci}}{R_{li}^2} - \frac{X_{ci} - X_P}{R_{2i}^2} \right] \text{ et } E_{yi} = -\frac{\lambda_i}{2\pi\epsilon_0} \left[\frac{h_i - Y_P}{R_{li}^2} + \frac{h_i + Y_P}{R_{2i}^2} \right] \quad (\text{A.13})$$

Où

X_{Ci} est la localisation horizontale des charges linéaires λ_i et $-\lambda_i$

$$R_{li} = \sqrt{(X_{ci} - X_P)^2 + (h_i - Y_P)^2} \text{ et } R_{2i} = \sqrt{(X_{ci} - X_P)^2 + (h_i + Y_P)^2} \quad (\text{A.14})$$

Pour toutes les lignes aériennes, les composantes totales au point P sont:

$$E_x = \sum_{i=1}^n E_{xi} \text{ et } E_y = \sum_{i=1}^n E_{yi} \quad (\text{A.15})$$

A.3 Exemple de champs électriques générés par des lignes aériennes de transport

A.3.1 Profils spatiaux d'un champ électrique

La Figure A.3 donne un exemple de profil spatial des niveaux calculés du champ électrique généré par une ligne de transport aérienne de 77 kV qui possède une configuration verticale à double circuit. Le rayon de chaque conducteur est de 12,65 mm. Les cas de disposition de phase transposée et non transposée sont pris en compte (voir la Figure A.3). Les niveaux de champ électrique sont calculés en fonction de la distance par rapport au centre des conducteurs, à une hauteur de 1,0 m au-dessus du sol.

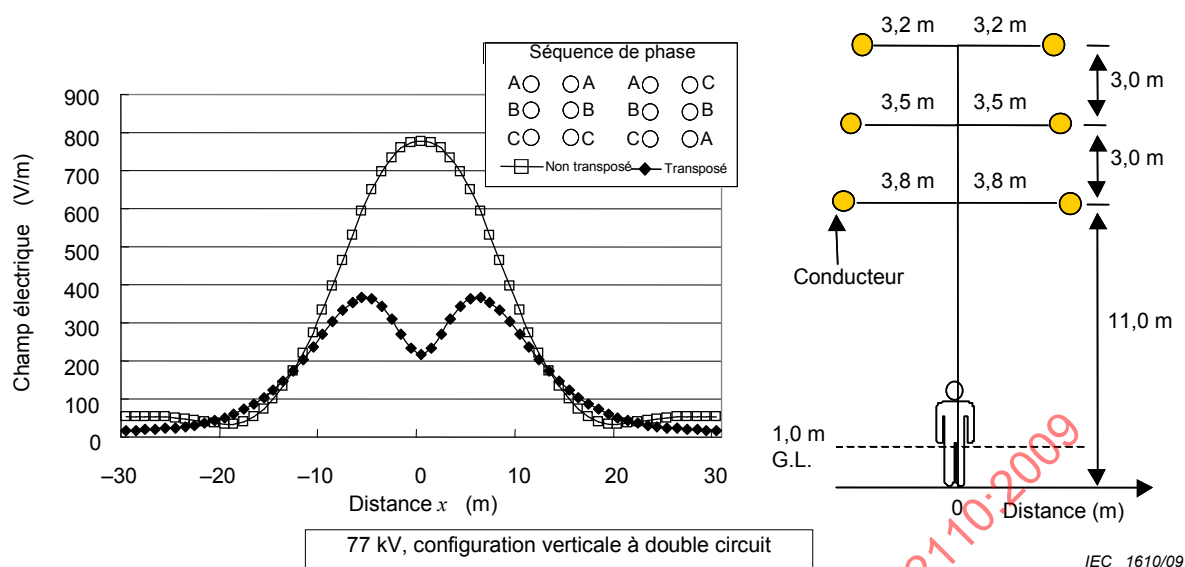


Figure A.3 – Niveau de champ électrique sous une ligne aérienne de transport

La Figure A.4 donne un exemple de profil spatial des niveaux calculés du champ électrique généré par une ligne de transport aérienne de 500 kV qui possède une configuration horizontale à circuit unique. Le rayon de chaque conducteur est de 14,25 mm. Les niveaux de champ électrique sont calculés en fonction de la distance par rapport au centre des conducteurs, à une hauteur de 1,0 m au-dessus du sol. Chaque phase se compose d'un faisceau de quatre conducteurs d'un rayon de 14,25 mm et d'un espacement entre les conducteurs de 400 mm. Par conséquent, on utilise pour le calcul le rayon géométrique équivalent de 189,5 mm, obtenu grâce à l'équation (A.4).

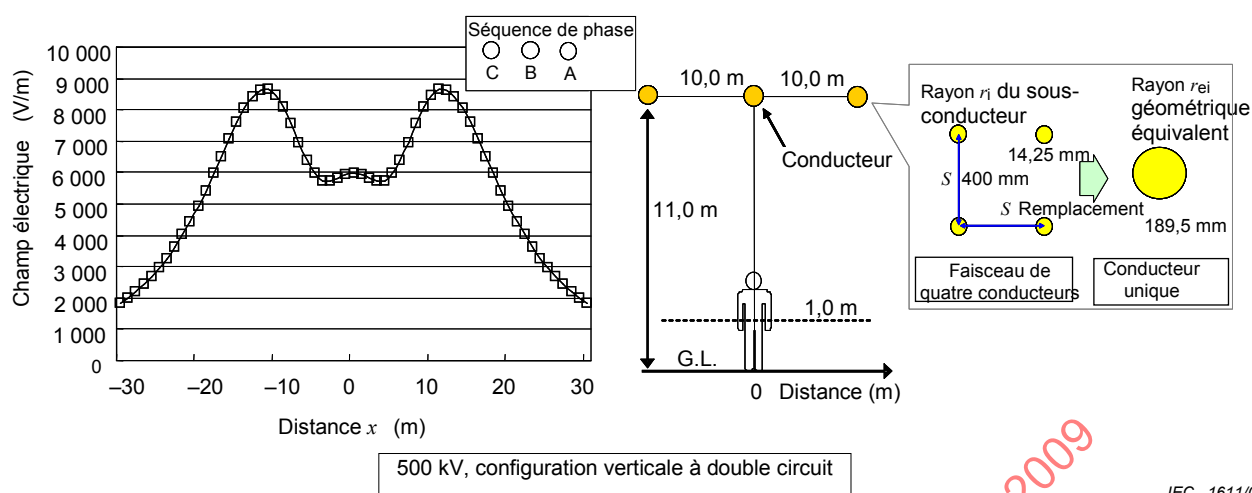


Figure A.4 – Niveau de champ électrique sous une ligne aérienne de transport comprenant des faisceaux de conducteurs

A.3.2 Facteurs ayant une influence sur le champ électrique

A.3.2.1 Distance du conducteur le plus près du sol

La Figure A.5 donne deux exemples de profil spatial des niveaux calculés du champ électrique généré par une ligne aérienne de transport de 77 kV qui possède une configuration verticale à double circuit. Dans un cas, la distance d'isolement au sol du conducteur le plus bas est supposée être de 11,0 m et dans l'autre, de 6,0 m. Les cas de disposition de phase transposée et non transposée sont pris en compte. Les niveaux de champ électrique sont calculés en fonction de la distance par rapport au centre des conducteurs, à des hauteurs de 0,5 m, 1,0 m et 1,5 m au-dessus du sol. Le rayon de chaque conducteur est de 12,65 mm.

La Figure A.5 présente également le calcul de la non-uniformité, qui est définie comme la valeur maximale de

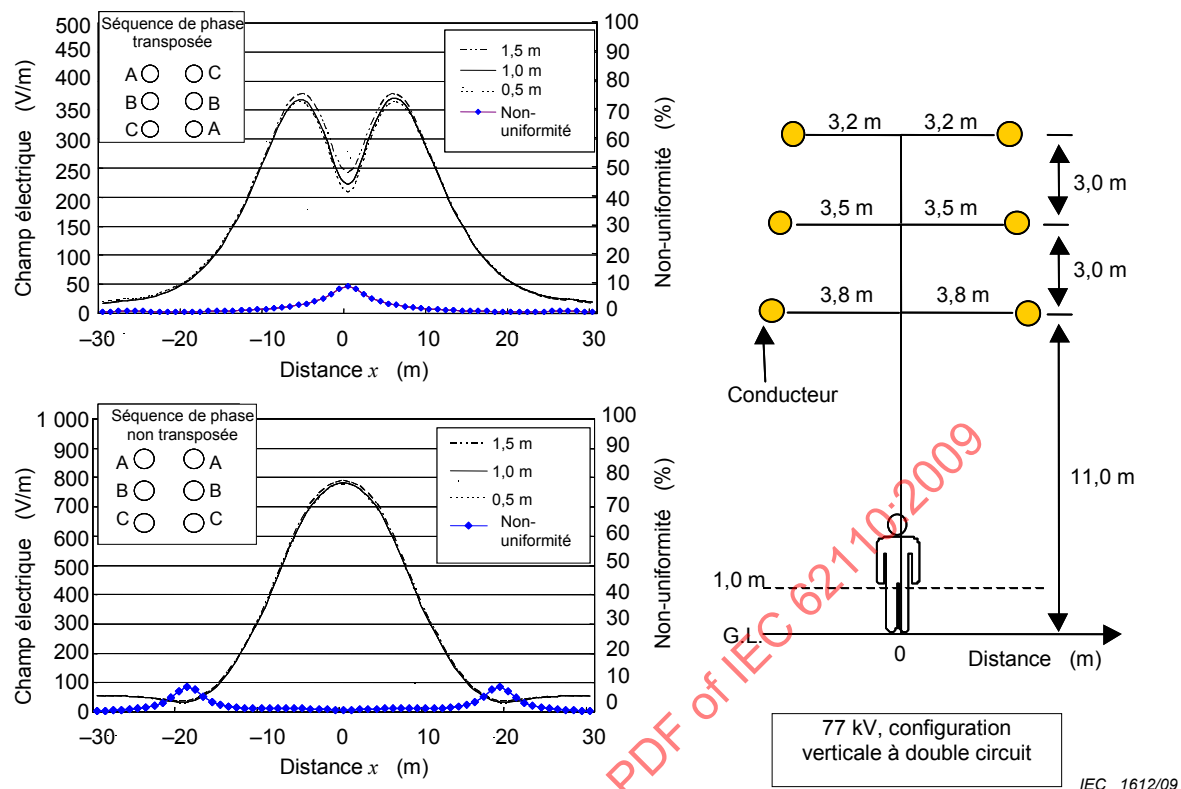
$$\left(\frac{E_h - E_{avg}}{E_{avg}} \right) \times 100 \text{ [%]} \quad (\text{A.16})$$

où

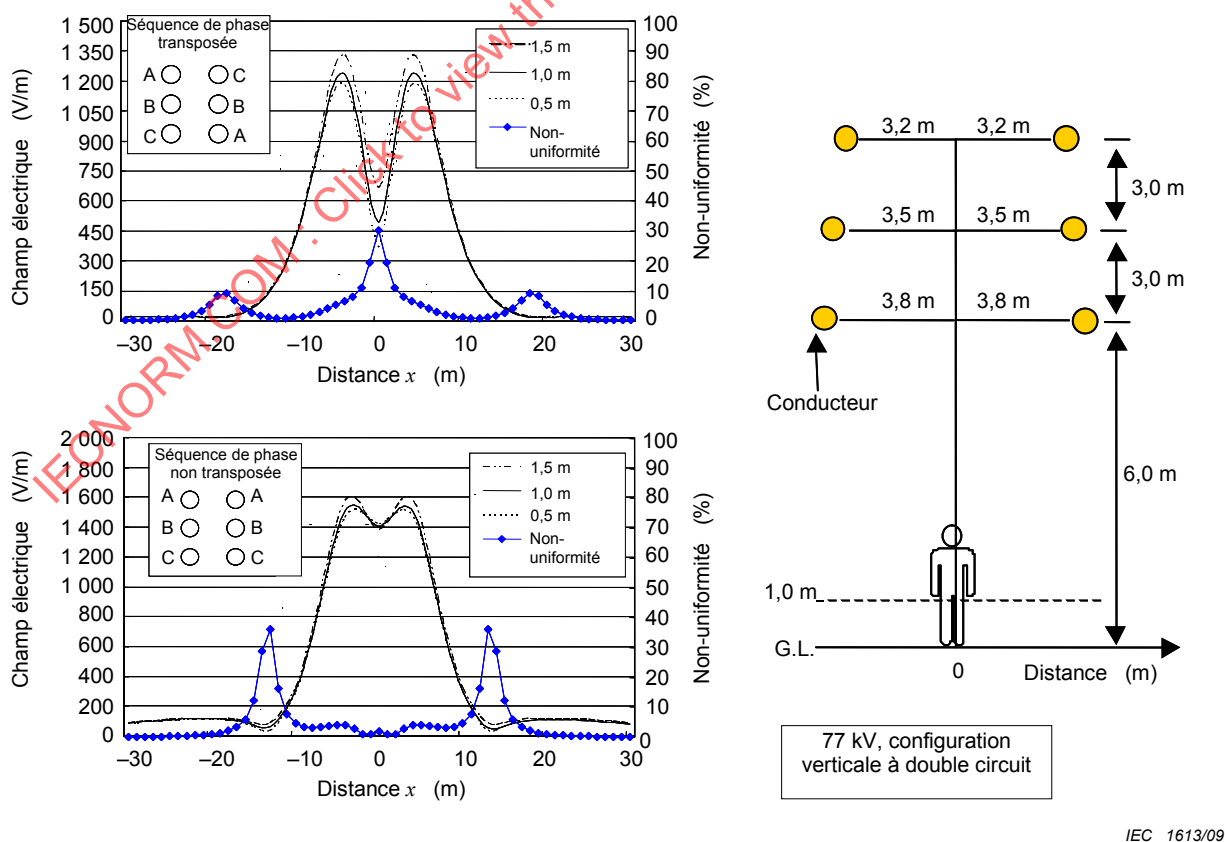
E_h est le niveau de champ électrique à des hauteurs de 0,5 m, 1,0 m et 1,5 m au-dessus du sol;
 E_{avg} est la moyenne arithmétique des trois niveaux.

Ceci pourrait être une mesure approximative pour évaluer et définir la non-uniformité d'un champ électrique.

La Figure A.6 donne deux exemples de profil spatial des niveaux calculés du champ électrique généré par une ligne aérienne de transport de 500 kV qui possède une configuration horizontale à circuit unique. Cette figure présente également le calcul de la non-uniformité. Dans un cas, la distance d'isolement au sol du conducteur le plus bas est supposée être de 11,0 m et dans l'autre, de 6,0 m. Les niveaux de champ électrique sont calculés en fonction de la distance par rapport au centre des conducteurs, à des hauteurs de 0,5 m, 1,0 m et 1,5 m au-dessus du sol. Chaque phase se compose d'un faisceau de quatre conducteurs d'un rayon de 14,25 mm et avec un espacement entre les conducteurs de 400 mm. Par conséquent, on utilise pour le calcul le rayon géométrique équivalent de 189,5 mm obtenu grâce à l'équation (A.12).

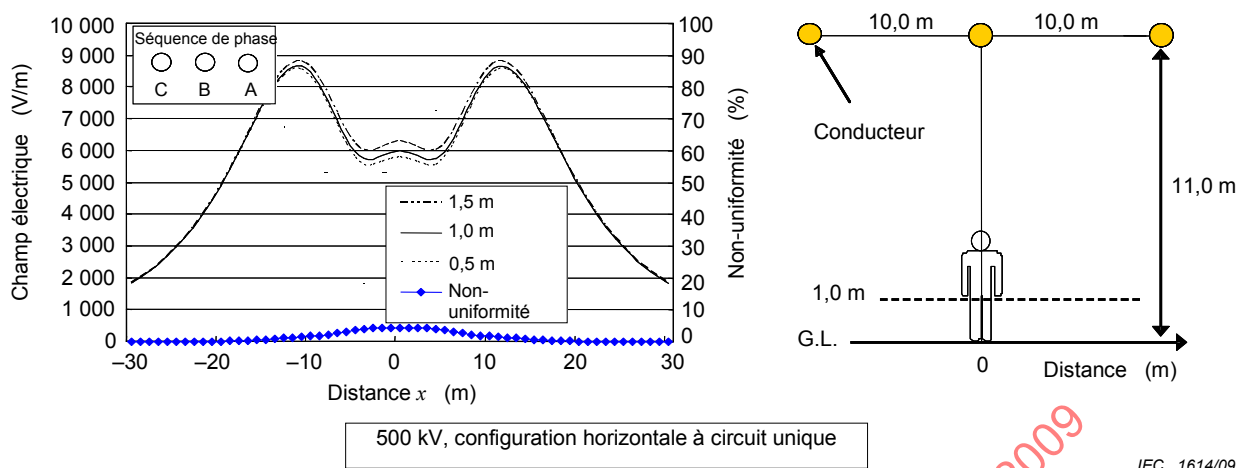


a) La distance d'isolement par rapport au sol du conducteur le plus bas est de 11,0 m

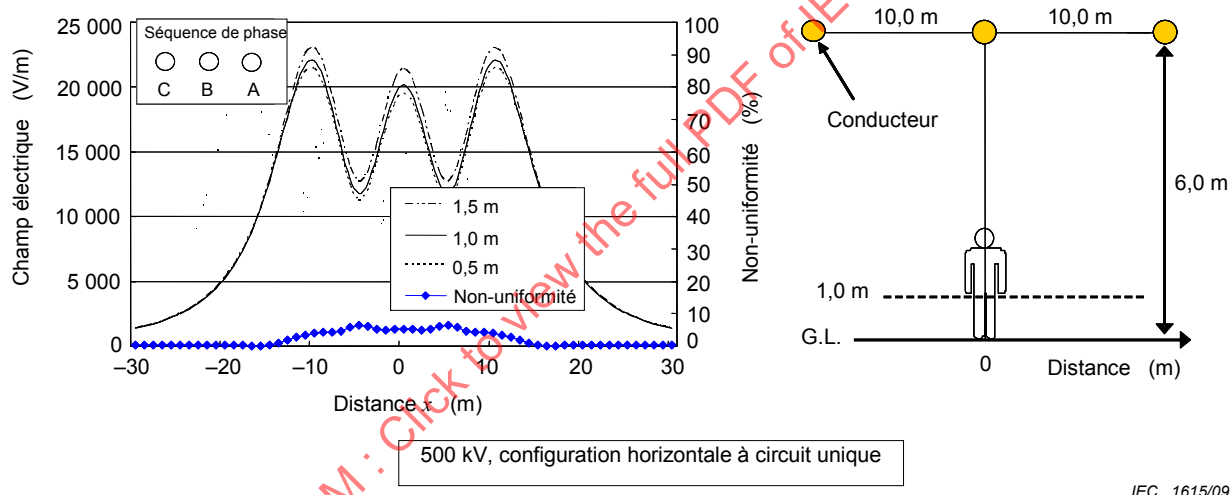


b) La distance d'isolement par rapport au sol du conducteur le plus bas est de 6,0 m

Figure A.5 – Niveaux et non-uniformité du champ électrique et sous une ligne aérienne de transport de 77 kV – Effet de la hauteur des conducteurs



a) La distance d'isolement par rapport au sol du conducteur le plus bas est de 11,0 m

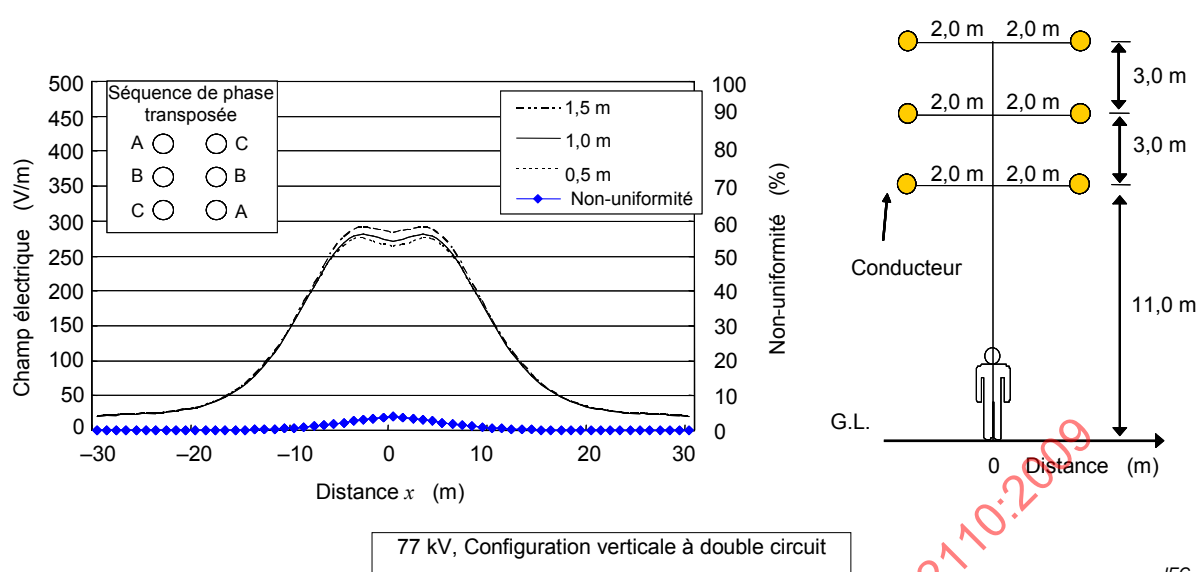


b) La distance d'isolement par rapport au sol du conducteur le plus bas est de 6,0 m

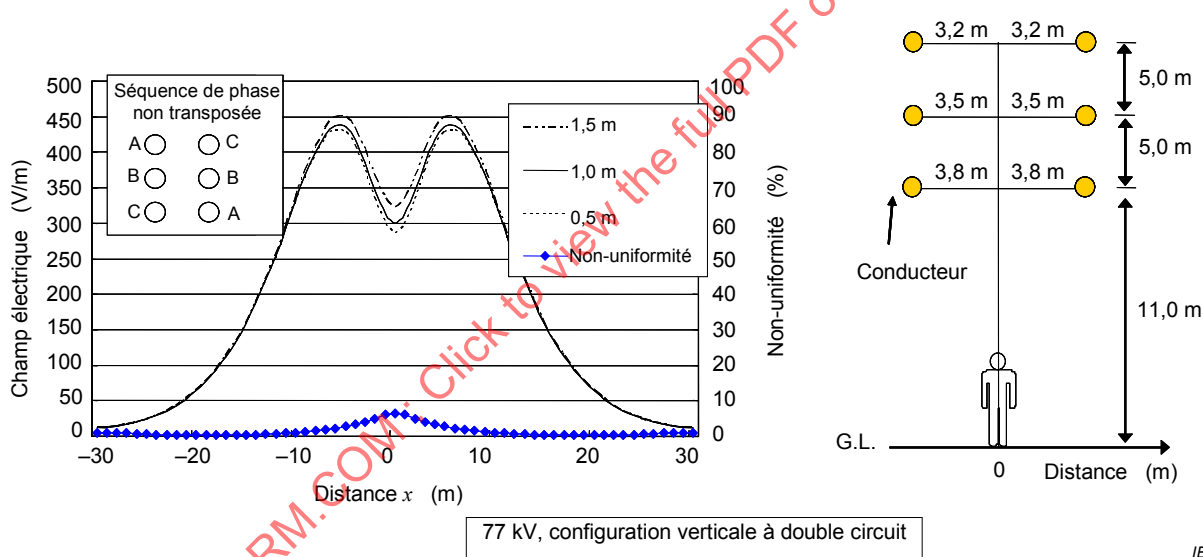
Figure A.6 – Niveaux et non-uniformité du champ électrique et sous une ligne aérienne de transport de 500 kV – Effet de la hauteur des conducteurs

A.3.2.2 Distance entre les conducteurs

La Figure A.7 donne deux exemples de profil spatial des niveaux calculés du champ électrique généré par une ligne aérienne de transport de 77 kV qui possède une configuration verticale à double circuit. Figure A.7 présente également le calcul de la non-uniformité. On suppose qu'il s'agit de deux lignes aériennes de même tension, l'une présentant de plus petites distances entre les conducteurs et l'autre de plus grandes distances. La disposition de phase est transposée et le rayon de chaque conducteur est de 12,65 mm. Les niveaux de champ électrique sont calculés en fonction de la distance par rapport au centre des conducteurs, à une hauteur de 1,0 m au-dessus du sol.



a) Plus petites distances entre les conducteurs



b) Plus grandes distances entre les conducteurs

Figure A.7 – Niveaux de champ électrique sous une ligne aérienne de transport de 77 kV – Effet de la distance entre les conducteurs

La Figure A.8 donne un exemple de profil spatial des niveaux calculés du champ électrique généré par une ligne aérienne de transport de 500 kV qui possède une configuration verticale à double circuit. Cette figure présente également le calcul de la non-uniformité. La disposition de phase est transposée. Les niveaux de champ électrique sont calculés en fonction de la distance par rapport au centre des conducteurs, à une hauteur de 1,0 m au-dessus du sol. Chaque phase se compose d'un faisceau de quatre conducteurs d'un rayon de 14,25 mm et avec un espacement entre les conducteurs de 400 mm. Par conséquent, on utilise pour le calcul le rayon géométrique équivalent de 189,5 mm obtenu grâce à l'équation (A.12).

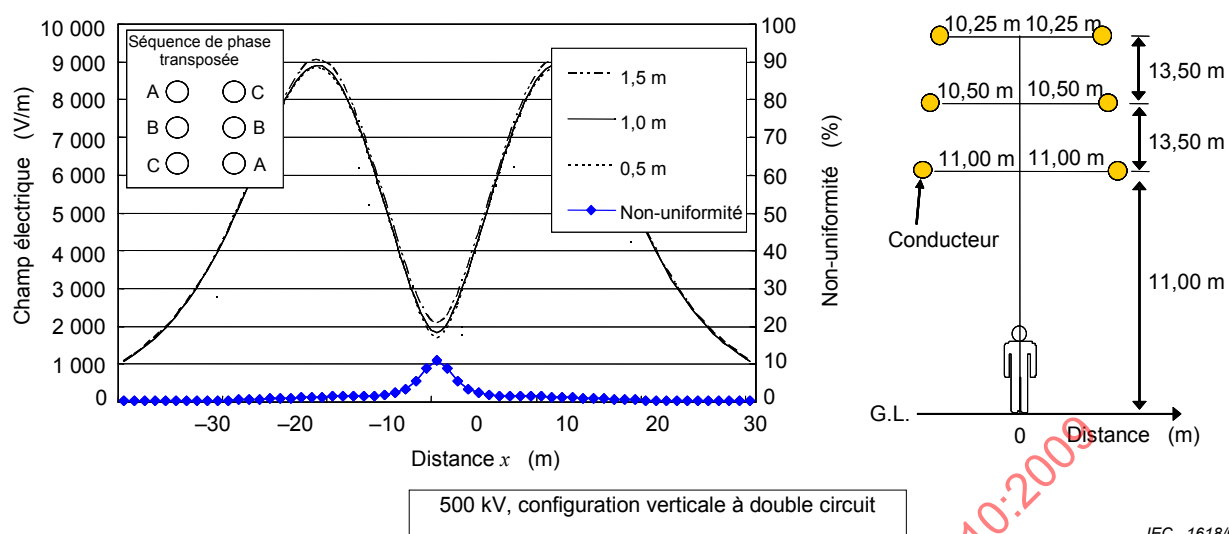
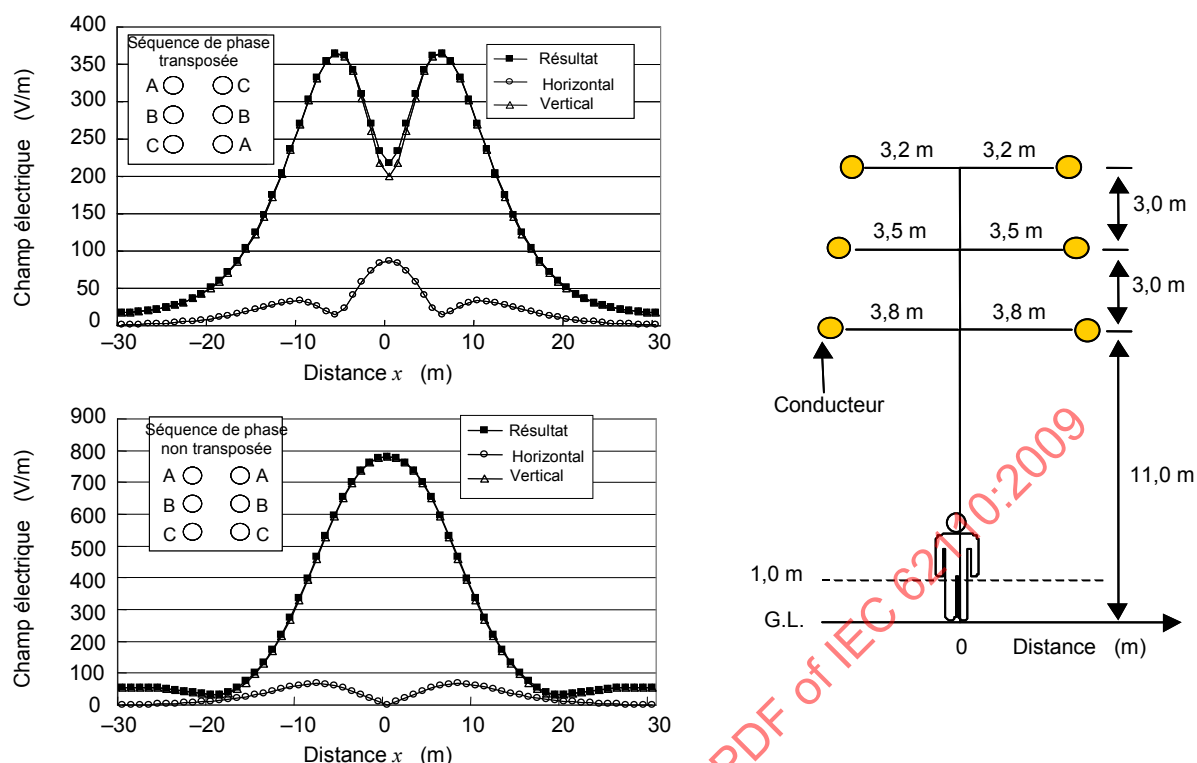


Figure A.8 – Niveaux et non-uniformité du champ électrique sous une ligne aérienne de transport de 500 kV – Effet de la distance entre les conducteurs

A.3.3 Composantes verticales et horizontales

La Figure A.9 donne des exemples de profil spatial des composantes verticales et horizontales des niveaux calculés du champ électrique généré par une ligne aérienne de transport de 77 kV qui possède une configuration verticale à double circuit. Le rayon de chaque conducteur est de 12,65 mm. Les dispositions de phase transposées et non transposées sont prises en compte. Les niveaux de champ électrique sont calculés en fonction de la distance par rapport au centre des conducteurs, à une hauteur de 1,0 m au-dessus du sol. La distance d'isolement par rapport au sol du conducteur le plus bas est de 11,0 m.



IEC 1619/09

Figure A.9 – Composantes verticales et horizontales des niveaux de champ électrique sous une ligne aérienne de transport de 77 kV

La Figure A.10 donne un exemple de profil spatial des composantes verticales et horizontales des niveaux calculés du champ électrique généré par une ligne de transport aérienne de 500 kV qui possède une configuration horizontale à circuit unique. Les niveaux de champ électrique sont calculés en fonction de la distance par rapport au centre des conducteurs, à une hauteur de 1,0 m au-dessus du sol. La distance d'isolement par rapport au sol du conducteur le plus bas est de 11,0 m. Chaque phase se compose d'un faisceau de quatre conducteurs d'un rayon de 14,25 mm et avec un espacement entre les conducteurs de 400 mm. Par conséquent, on utilise pour le calcul le rayon géométrique équivalent de 189,5 mm obtenu grâce à l'équation (A.12).

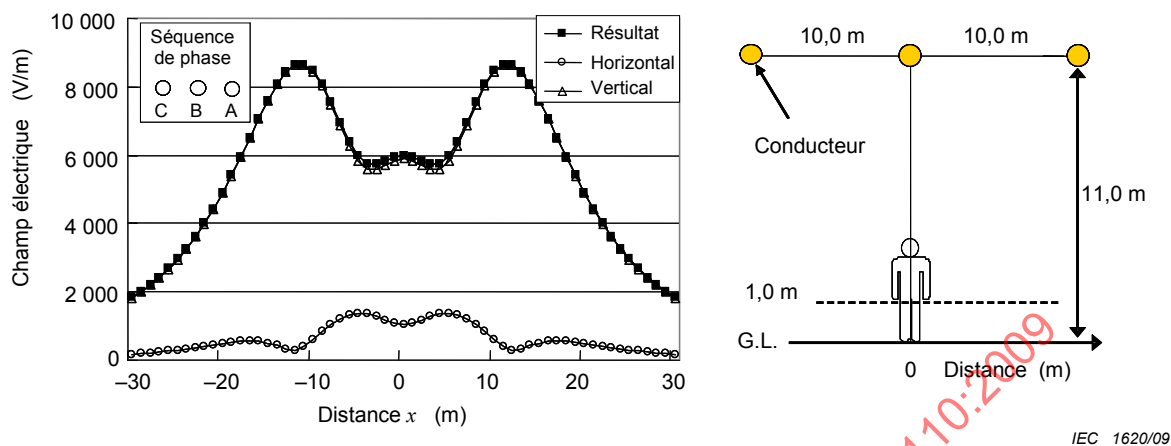
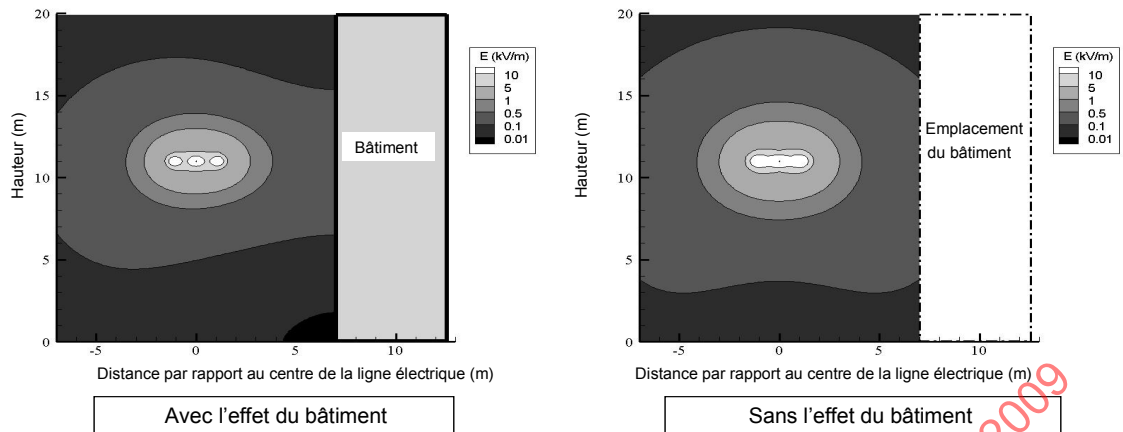


Figure A.10 – Composantes verticales et horizontales des niveaux de champ électrique sous une ligne aérienne de transport de 500 kV

A.3.4 Effet de proximité

La Figure A.11 donne un exemple de tracé de contour calculé pour les niveaux de champ électrique générés par une ligne aérienne de 25 kV située à proximité d'un bâtiment élevé. Le champ maximal sur le mur est situé à une hauteur correspondant à celle des conducteurs. Au niveau du sol, le champ est réduit par le bâtiment (voir la Figure A.12).



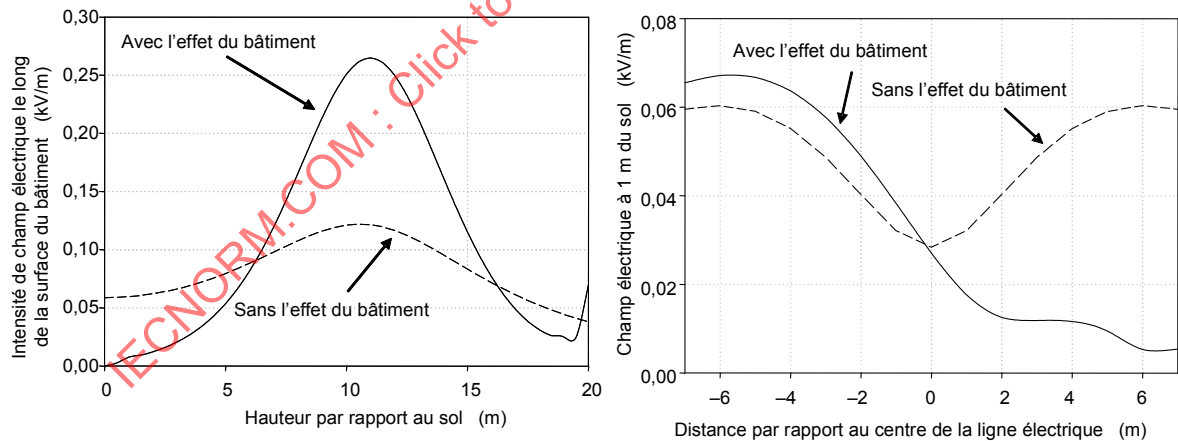
IEC 1621/09

Hauteur des conducteurs: 11,0 m Distance entre les conducteurs: 1,12 m
Bâtiment de 20,0 m de hauteur, positionné à 7,0 m du centre de la ligne

Légende

Hauteur du conducteur 11,0 m
Distance entre les conducteurs 1,12 m
Hauteur du bâtiment 20,0 m, situé à 7,0 m du centre d'une ligne aérienne

Figure A.11 – Contour du champ électrique d'une ligne aérienne de 25 kV



IEC 1622/09

Figure A.12 – Profil de champ électrique le long du mur d'un bâtiment et à 1 m au-dessus du sol

Annexe B (informative)

Caractéristiques des champs magnétiques générés par les systèmes électriques à courant alternatif

B.1 Généralités

Lorsque le champ magnétique est uniforme, le *niveau moyen d'exposition* du champ magnétique peut être évalué par une *mesure en un seul point*. Cependant, lorsque le champ n'est pas uniforme, une méthode de mesure adaptée est nécessaire pour évaluer le *niveau moyen d'exposition*. A cet effet, on doit comprendre la distribution spatiale des champs magnétiques autour du système électrique.

La distribution spatiale des champs magnétiques peut être différente selon les types de source, par exemple une ligne aérienne, un câble souterrain, un équipement de distribution électrique et un poste électrique. Elle varie également en fonction de la configuration du circuit de chaque système.

La présente annexe présente la procédure générale de calcul ainsi que des exemples de calculs de profils spatiaux des champs magnétiques générés par divers systèmes électriques.

B.2 Procédure générale de calcul du niveau de champ magnétique

B.2.1 Champ magnétique résultant

L'induction magnétique résultante B_r est définie comme la racine carrée de la valeur moyenne pendant un cycle T du produit intérieur du vecteur de champ magnétique $\mathbf{B}$ et $\mathbf{B}$, et est exprimée par l'équation suivante:

$$\begin{aligned}\mathbf{B} &= B_x(t) \mathbf{i} + B_y(t) \mathbf{j} + B_z(t) \mathbf{k} \\ &= \sqrt{2} B_x \sin(\omega t + \alpha) \mathbf{i} + \sqrt{2} B_y \sin(\omega t + \beta) \mathbf{j} + \sqrt{2} B_z \sin(\omega t + \gamma) \mathbf{k}\end{aligned}\quad (\text{B.1})$$

où $\mathbf{i}$, $\mathbf{j}$ et $\mathbf{k}$ sont les vecteurs unité selon trois directions orthogonales.

$$\begin{aligned}B_r &= \sqrt{\frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} |\mathbf{B}|^2 dt} = \sqrt{\frac{\omega}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{\omega}}^{\frac{\pi}{\omega}} |\mathbf{B}|^2 dt} \\ &= \sqrt{\frac{\omega}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{\omega}}^{\frac{\pi}{\omega}} [2B_x^2 \sin^2(\omega t + \alpha) + 2B_y^2 \sin^2(\omega t + \beta) + 2B_z^2 \sin^2(\omega t + \gamma)] dt}\end{aligned}\quad (\text{B.2})$$

La substitution

$$\int_{-\frac{\pi}{\omega}}^{\frac{\pi}{\omega}} \sin^2(\omega t + \alpha) dt = \int_{-\frac{\pi}{\omega}}^{\frac{\pi}{\omega}} \frac{1}{2} \{1 - \cos 2(\omega t + \alpha)\} dt = \frac{\pi}{\omega}\quad (\text{B.3})$$

conduit à une simplification importante de l'équation (B.2):

$$B_r = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}\quad (\text{B.4})$$

B_r est simplement appelé champ magnétique résultant. Il n'est pas influencé par la différence de phase entre chaque composante axiale et n'est déterminé que par la valeur efficace de chaque composante axiale du champ magnétique.

Il convient d'utiliser B_r pour évaluer l'exposition du corps humain aux champs magnétiques.

B.2.2 Valeur efficace maximale et minimale d'un champ magnétique alternatif à fréquence unique

Les conditions nécessaires pour fournir l'amplitude maximale et minimale du vecteur de champ magnétique $|\mathbf{B}|$ sont présentées ci-dessous.

$$\frac{d|\mathbf{B}|}{dt} = 0 \quad (\text{B.5})$$

$|\mathbf{B}|$ est exprimé par l'équation suivante:

$$\begin{aligned} |\mathbf{B}| &= \sqrt{\mathbf{B} \cdot \mathbf{B}} \\ &= \sqrt{2B_x^2 \sin^2(\omega t + \alpha) + 2B_y^2 \sin^2(\omega t + \beta) + 2B_z^2 \sin^2(\omega t + \gamma)} \end{aligned} \quad (\text{B.6})$$

Pour l'Équation (B.6), la condition requise pour satisfaire l'équation (B.5) est la suivante:

$$2\omega t + \delta = \pi \text{ ou } 2\omega t + \delta = 0 \quad (\text{B.7})$$

où

δ est donné par

$$\delta = \tan^{-1} \frac{B_x^2 \sin 2\alpha + B_y^2 \sin 2\beta + B_z^2 \sin 2\gamma}{B_x^2 \cos 2\alpha + B_y^2 \cos 2\beta + B_z^2 \cos 2\gamma} \quad (\text{B.8})$$

En remplaçant l'équation (B.7) dans l'Équation (B.6), on peut évaluer les expressions suivantes respectivement pour $B_{\min}$, la valeur efficace minimale de $|\mathbf{B}|$ et $B_{\max}$, sa valeur efficace maximale:

$$|\mathbf{B}| = \sqrt{(B_x^2 + B_y^2 + B_z^2) \pm \{B_x^2 \cos(2\alpha - \delta) + B_y^2 \cos(2\beta - \delta) + B_z^2 \cos(2\gamma - \delta)\}} \quad (\text{B.9})$$

$$\begin{aligned} B_{\max} &= \frac{1}{\sqrt{2}} \text{Max } |\mathbf{B}| \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(B_x^2 + B_y^2 + B_z^2) + \{B_x^2 \cos(2\alpha - \delta) + B_y^2 \cos(2\beta - \delta) + B_z^2 \cos(2\gamma - \delta)\}} \end{aligned} \quad (\text{B.10})$$

$$\begin{aligned} B_{\min} &= \frac{1}{\sqrt{2}} \text{Min } |\mathbf{B}| \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(B_x^2 + B_y^2 + B_z^2) - \{B_x^2 \cos(2\alpha - \delta) + B_y^2 \cos(2\beta - \delta) + B_z^2 \cos(2\gamma - \delta)\}} \end{aligned} \quad (\text{B.11})$$

$B_{\max}$ et $B_{\min}$, qui sont appelées valeurs efficaces maximale et minimale des champs magnétiques, correspondent respectivement au petit axe et au grand axe du champ magnétique

elliptique. La relation $B_{\max} \leq B_r$ est toujours valable, et le signe égal vaut pour les champs magnétiques linéaires. De plus, l'équation suivante est valable entre $B_{\max}$, $B_{\min}$, et B_r .

$$B_r = \sqrt{B_{\max}^2 + B_{\min}^2} \quad (\text{B.12})$$

Pour les champs ayant des harmoniques, $B_{\max}$ et $B_{\min}$ sont plus difficiles à déterminer; il convient donc que la mesure s'appuie entièrement sur la détermination de B_r grâce aux méthodes décrites au paragraphe 4.3.

B.3 Exemple de champs magnétiques générés par des lignes aériennes de transport

B.3.1 Profils spatiaux d'un champ magnétique

La Figure B.1 donne des exemples de profil spatial des niveaux calculés du champ magnétique généré par une ligne aérienne de transport de 77 kV qui possède une configuration verticale à double circuit. Les cas de disposition de phase non transposée et transposée sont pris en compte. Les niveaux de champ magnétique sont calculés en fonction de la distance par rapport au centre de la ligne, à une hauteur de 1,0 m au-dessus du sol. On suppose que l'intensité du courant parcourant chaque circuit est équilibrée et fixée à 200 A.

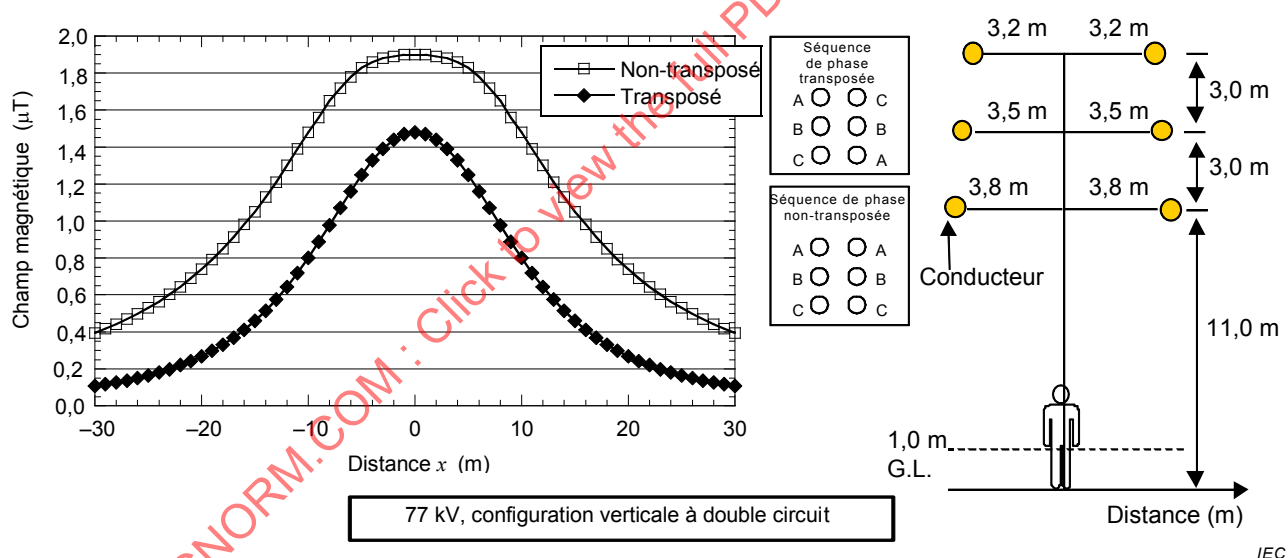


Figure B.1 – Niveaux de champ magnétique sous une ligne aérienne de transport de 77 kV

La Figure B.2 donne un exemple de profil spatial des niveaux calculés du champ magnétique généré par une ligne de transport aérienne de 500 kV qui possède une configuration horizontale à circuit unique. Les niveaux de champ magnétique sont calculés en fonction de la distance par rapport au centre des conducteurs, à une hauteur de 1,0 m au-dessus du sol. On suppose que l'intensité du courant parcourant chaque circuit est équilibrée et fixée à 200 A.

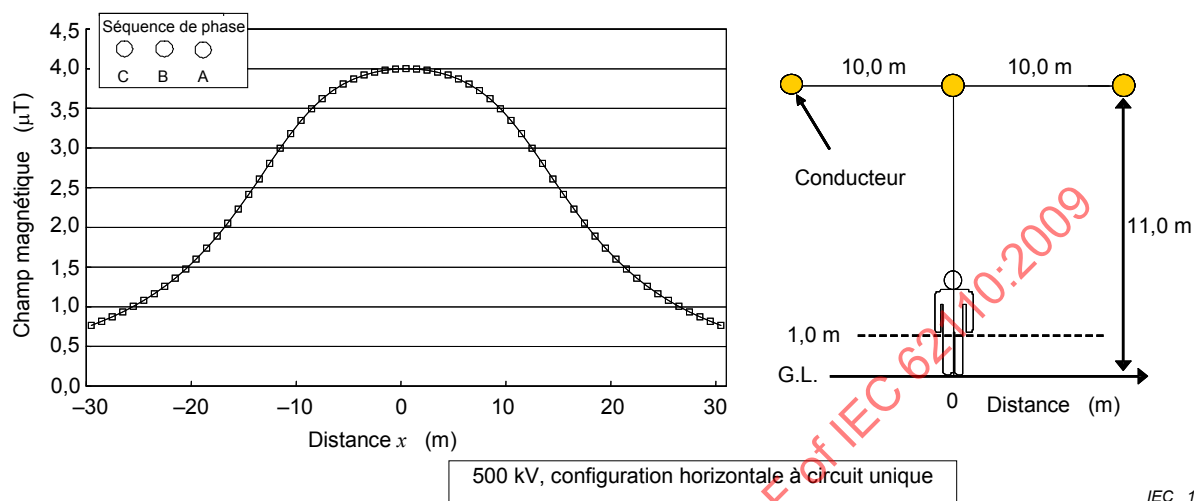


Figure B.2 – Niveaux de champ magnétique sous une ligne aérienne de transport de 500 kV

B.3.2 Facteurs ayant une influence sur le champ magnétique

B.3.2.1 Distance par rapport au sol du conducteur le plus bas

La Figure B.3 donne deux exemples de profil spatial des niveaux calculés du champ magnétique généré par une ligne aérienne de transport de 77 kV qui possède une configuration verticale à double circuit. Dans un cas, la distance par rapport au sol du conducteur le plus bas est supposée être de 11,0 m et dans l'autre, de 6,0 m. Les cas de disposition de phase transposée et non transposée sont pris en compte. Les niveaux de champ magnétique sont calculés en fonction de la distance par rapport au centre des conducteurs, à des hauteurs de 0,5 m, 1,0 m et 1,5 m au-dessus du sol. On suppose que l'intensité du courant parcourant chaque circuit est équilibrée et fixée à 200 A.

La Figure B.3 présente également le calcul de la non-uniformité, qui est définie comme la valeur maximale de

$$\left(\frac{|B_h - B_{\text{avg}}|}{B_{\text{avg}}} \right) \times 100 \quad (\%) \quad (\text{B.13})$$

où

B_h est le niveau de champ magnétique à des hauteurs de 0,5 m, 1,0 m et 1,5 m au-dessus du sol

B_{avg} est la moyenne arithmétique des trois niveaux.

Ceci pourrait être une mesure approximative pour évaluer et définir la non-uniformité d'un champ magnétique.