

TECHNICAL REPORT

RAPPORT TECHNIQUE

**High-voltage switchgear and controlgear –
Part 208: Methods to quantify the steady state, power-frequency electromagnetic
fields generated by HV switchgear assemblies and HV/LV prefabricated
substations**

**Appareillage à haute tension –
Partie 208: Méthodes de quantification des champs électromagnétiques à
fréquence industrielle en régime établi générés par les ensembles
d'appareillages HT et les postes préfabriqués HT/BT**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	8
4 Evaluation requirements	9
4.1 General.....	9
4.2 Methods of evaluation	9
4.3 Evaluation of electric fields.....	10
4.3.1 HV switchgear assemblies.....	10
4.3.2 HV/LV prefabricated substations.....	10
4.4 Evaluation of magnetic fields.....	10
4.4.1 HV switchgear assemblies.....	10
4.4.2 HV/LV prefabricated substations.....	11
5 Measurements.....	12
5.1 General.....	12
5.2 Measuring instruments	12
5.3 Measurement procedures	12
5.3.1 General	12
5.3.2 Electric field	13
5.3.3 Magnetic field	16
5.3.4 Background fields	16
5.3.5 Environmental factors.....	16
5.4 Measurement set-up.....	17
5.4.1 General	17
5.4.2 Additional provisions for HV/LV prefabricated substations	20
6 Calculations	20
6.1 General.....	20
6.2 Software.....	21
6.3 Calculation procedures.....	21
6.4 Results.....	21
6.5 Validation	22
7 Documentation	22
7.1 Characteristics of the HV switchgear assembly or prefabricated substation	22
7.2 Evaluation method.....	22
7.3 Presentation of the measurement results.....	22
7.4 Presentation of the calculation results	23
Annex A (informative) Presentation of E or B field measurement data – Example for a typical HV/LV pre-fabricated substation	24
Annex B (informative) Examples of analytical solutions to benchmark EMF calculations.....	27
Bibliography.....	45

Figure 1 – Example of test circuits configuration to obtain the maximum external magnetic field of a switchgear assembly and/or a prefabricated substation 11

Figure 2 – Reference surface (RS) for equipment of irregular shape 13

Figure 3 – Scanning areas to find the hot spots	14
Figure 4 – Determination of the field variation as a function of the distance from the hot spot locations (perpendicular to the reference surface)	15
Figure 5 – Test set-up of main components, external cables, hot spot locations and measurement volume.....	18
Figure 6 – Test circuit for electric and magnetic field measurement	19
Figure A.1 – Hot spot locations representing the field maxima	24
Figure A.2 – Graphical presentation of the field variation	25
Figure A.3 – Example diagram for the field variation at hot spots	26
Figure B.1 – Schematic for 3-phase magnetic field calculation	27
Figure B.2 – Variation of resultant magnetic field around 3-phase cable	30
Figure B.3 – Maximum resultant magnetic field around 3-phase cable	31
Figure B.4 – Schematic for 3-phase electric field calculation	35
Figure B.5 – Variation of resultant electric field around 3-phase cable	38
Figure B.6 – Maximum resultant electric field around 3-phase cable	40
Table A.1 – Listing of the hot spot coordinates.....	25
Table A.2 – Variation of field values for one hot spot	25
Table A.3 – Background fields	26
Table B.1 – Values of H_{res} for spatial angles θ and time angles ωt	30
Table B.2 – Values of maximum H_{res} for spatial angles θ	32
Table B.3 – Values of E_{res} for spatial angles θ and time angles ωt	39
Table B.4 – Values of maximum E for spatial angles θ	40

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR –

Part 208: Methods to quantify the steady state, power-frequency electromagnetic fields generated by HV switchgear assemblies and HV/LV prefabricated substations

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as “IEC Publication(s)”). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. However, a technical committee may propose the publication of a technical report when it has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

IEC 62271-208, which is a technical report, has been prepared by subcommittee 17C: High-voltage switchgear and controlgear assemblies, of IEC technical committee 17: Switchgear and controlgear.

In this technical report the word “shall” is used as a conditional “shall”, in the event that this technical report is applied.

The text of this technical report is based on the following documents:

Enquiry draft	Report on voting
17C/450/DTR	17C/462/RVC

Full information on the voting for the approval of this technical report 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.

A list of all the parts in the IEC 62271 series, under the general title *High-voltage switchgear and controlgear*, can be found on the IEC website.

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

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

INTRODUCTION

Manufacturers of electricity supply equipment may be asked to provide information about the electromagnetic field characteristics to enable the user to

- assess the electromagnetic field conditions to assist with planning, installation, operating instructions and service,
- take measures to meet requirements or regulations on electromagnetic fields,
- compare different products as far as their level of electromagnetic fields is concerned.

The purpose of this technical report is to describe a methodology for the evaluation (measurement or calculation) of generated electromagnetic fields.

The electromagnetic field characteristic of the equipment comprises the values of the electric and the magnetic fields around its accessible surfaces.

The electromagnetic field characteristic defined in this technical report refers to a single product as defined in the scope. In real installations, several field sources can superimpose, so the resulting electromagnetic fields on site may differ significantly from the single product characteristics.

This technical report does not define a mandatory test for the products mentioned in the scope.

Neither the establishment of limits for the electromagnetic fields generated by equipment, nor the establishment of assessment methods for the human exposure to electromagnetic fields is within the content or intent of this technical report.

HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR –

Part 208: Methods to quantify the steady state, power-frequency electromagnetic fields generated by HV switchgear assemblies and HV/LV prefabricated substations

1 Scope

This part of IEC 62271 gives practical guidance for the evaluation and documentation of the external electromagnetic fields which are generated by HV switchgear assemblies and HV/LV prefabricated substations. Basic requirements to measure or calculate the electric and magnetic fields are summarised for switchgear assemblies covered by IEC 62271-200 and IEC 62271-201, and for prefabricated substations covered by IEC 62271-202.

NOTE 1 The methods described in this technical report refer to three-phase equipment. However, the methodology may be used correspondingly for any single- or multi-phase equipment covered by this technical report.

This technical report applies to equipment rated for voltages up to and including 52 kV and power-frequencies from 15 Hz to 60 Hz. The electromagnetic fields which are generated by harmonics or transients are not considered in this technical report. However, the methods described are equally applicable to the harmonic fields of the power-frequency.

Detailed generic information on requirements and measurements of low-frequency electromagnetic fields is given in IEC 61786.

This technical report covers evaluation under factory or laboratory conditions before installation. The electric and the magnetic fields can be evaluated either by measurements or by calculations.

NOTE 2 Where practicable, the methods described in this technical report may also be used for installations on site.

It is not within the scope of this technical report to specify limit values of electromagnetic fields or methods for the assessment of human exposure.

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 61000-6-2, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-2: Generic standards - Immunity for industrial environments*

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*

IEC 62271-200, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 200: AC metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV*

IEC 62271-201, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 201: AC insulation-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV*

IEC 62271-202, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 202: High-voltage/low-voltage prefabricated substation*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	48
INTRODUCTION.....	50
1 Domaine d'application	51
2 Références normatives.....	51
3 Termes and définitions	52
4 Exigences pour les évaluations	53
4.1 Généralités.....	53
4.2 Méthodes d'évaluation.....	54
4.3 Evaluation des champs électriques.....	54
4.3.1 Ensembles d'appareillages HT	54
4.3.2 Postes préfabriqués HT/BT.....	54
4.4 Evaluation des champs magnétiques.....	54
4.4.1 Ensembles d'appareillages HT	54
4.4.2 Postes préfabriqués HT/BT.....	55
5 Mesures	56
5.1 Généralités.....	56
5.2 Instruments de mesure	56
5.3 Procédures de mesure	57
5.3.1 Généralités.....	57
5.3.2 Champ électrique	57
5.3.3 Champ magnétique	60
5.3.4 Champ de bruit de fond	60
5.3.5 Facteurs d'environnement	60
5.4 Organisation des mesures.....	61
5.4.1 Généralités.....	61
5.4.2 Dispositions complémentaires pour les postes préfabriqués HT/BT	64
6 Calculs	64
6.1 Généralités.....	64
6.2 Logiciels.....	65
6.3 Procédures de calcul.....	65
6.4 Résultats	66
6.5 Validation	66
7 Documentation	66
7.1 Caractéristiques de l'ensemble d'appareillages HT ou du poste préfabriqué.....	66
7.2 Méthode d'évaluation	66
7.3 Présentation des résultats de mesure.....	67
7.4 Présentation des résultats de calcul	67
Annexe A (informative) Présentation des valeurs de mesures de champ E ou B – Exemple pour un poste préfabriqué HT/BT typique	68
Annexe B (informative) Exemple de résolution analytique pour l'évaluation de la performance des calculs de champ électromagnétiques.....	71
Bibliographie.....	89

Figure 1 – Exemple de configuration des circuits d'essai permettant d'obtenir le champ magnétique externe maximum pour un ensemble d'appareillages et/ou un poste préfabriqué..... 55

Figure 2 – Surface de référence (SR) d'un équipement de forme irrégulière	57
Figure 3 – Zones de balayage pour trouver les points chauds	58
Figure 4 – Détermination des variations de champ en fonction de la distance aux localisations de points chauds (perpendiculairement à la surface de référence).....	59
Figure 5 – Organisation, pour les essais, des composants principaux, des câbles externes, des endroits de points chauds et du volume de mesure	62
Figure 6 – Circuits d'essai pour les mesures de champ électrique et magnétique	63
Figure A.1 – Localisation des points chauds représentant les maximum de champ sur les faces accessibles	68
Figure A.2 – Présentation graphique de la variation de champ	69
Figure A.3 – Exemple de diagramme pour la variation de champ aux points chauds	70
Figure B.1 – Schéma pour le calcul des champs magnétiques triphasés	71
Figure B.2 – Variation de la résultante du champ magnétique autour d'un câble triphasé	74
Figure B.3 – Valeur maximum du champ magnétique résultant autour d'un câble triphasé	75
Figure B.4 – Schéma pour le calcul des champs électriques triphasés	79
Figure B.5 – Variation de la résultante du champ électrique autour d'un câble triphasé	82
Figure B.6 – Valeur maximum du champ électrique résultant autour d'un câble triphasé	84
Tableau A.1 – Liste des coordonnées des points chauds	69
Tableau A.2 – Variation des valeurs de champ pour un point chaud.....	69
Tableau A.3 – Champs de bruit de fond	70
Tableau B.1 – Valeurs du champ magnétique résultant pour phases θ et phases instantanées ωt	74
Tableau B.2 – Valeurs de maximum de champ magnétique résultant en fonction de la phase θ	76
Tableau B.3 – Valeurs du champ électrique résultant pour phases θ et phases instantanées ωt	83
Tableau B.4 – Valeurs de maximum de champ électrique résultant en fonction de la phase θ	85

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

APPAREILLAGE À HAUTE TENSION –

Partie 208: Méthodes de quantification des champs électromagnétiques à fréquence industrielle en régime établi générés par les ensembles d'appareillages HT et les postes préfabriqués HT/BT

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 elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de la CEI. La CEI n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à 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 tâche principale des comités d'études de la CEI est l'élaboration des Normes internationales. Toutefois, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique lorsqu'il a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur l'état de la technique.

Le rapport technique CEI 62271-208 a été établie par le sous-comité 17C: Ensembles d'appareillages à haute tension, du comité d'études 17 de la CEI: Appareillage.

Dans ce rapport technique, le mot "devoir" est utilisé dans un sens conditionnel, pour le cas où ce rapport technique est appliqué.

Le texte de ce rapport technique est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
17C/450/FDIS	17C/462/RVD

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

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

Une liste de toutes les parties de la série CEI 62271, présentée sous le titre général *Appareillage à haute tension*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

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.

INTRODUCTION

Les constructeurs de matériels de réseaux d'alimentation électrique peuvent être amenés à fournir de la documentation à propos des caractéristiques de champ électromagnétique pour permettre aux utilisateurs

- d'évaluer les conditions de champ électromagnétique et ainsi aider à la planification, l'installation, la rédaction des instructions d'utilisation, et l'entretien,
- de prendre des mesures pour se conformer aux exigences ou réglementations à propos des champs électromagnétiques,
- de comparer différents produits pour autant que leur niveau de champ électromagnétique soit concerné.

Le but de ce rapport technique est de décrire une méthodologie pour l'évaluation (mesures ou calculs) des champs électromagnétiques générés.

Les caractéristiques du champ électromagnétique d'un équipement comprennent les valeurs de champs électrique et magnétique autour de ses surfaces accessibles.

Les caractéristiques de champ électromagnétique définies dans ce rapport technique se rapportent à un seul produit comme défini dans le domaine d'application. Dans des installations réelles, plusieurs sources peuvent se superposer, ainsi, sur site, les champs électromagnétiques résultants peuvent varier de manière significative par rapport aux caractéristiques du seul produit.

Ce rapport technique ne définit pas un essai obligatoire pour les produits mentionnés dans le domaine d'application.

Ce rapport technique ne contient pas et n'a pas l'intention d'établir des limites de champ électromagnétique généré par des équipements, ni d'établir des méthodes d'évaluation de l'exposition humaine à des champs électromagnétiques.

APPAREILLAGE À HAUTE TENSION –

Partie 208: Méthodes de quantification des champs électromagnétiques à fréquence industrielle en régime établi générés par les ensembles d'appareillages HT et les postes préfabriqués HT/BT

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 62271 donne des conseils pratiques pour évaluer et documenter les champs électromagnétiques externes générés par des appareillages HT et des postes HT/BT préfabriqués. Les exigences de base pour mesurer ou calculer les champs électrique et magnétique sont résumées pour des appareillages couverts par la CEI 62271-200 et la CEI 62271-201 et pour les postes préfabriqués couverts par la CEI 62271-202.

NOTE 1 Les méthodes décrites dans ce rapport technique se réfèrent aux équipements triphasés. Cependant, la méthodologie peut être utilisée de manière similaire pour tout équipement monophasé ou multiphasé couvert par ce rapport technique.

Ce rapport technique s'applique aux équipements assignés pour des tensions jusqu'à et y compris 52 kV et des fréquences réseau de 15 Hz à 60 Hz. Les champs électromagnétiques générés par des harmoniques ou des transitoires ne sont pas considérés dans ce rapport technique. Cependant, les méthodes décrites sont également applicables aux champs harmoniques de la fréquence réseau.

Des informations génériques détaillées sur les exigences et mesures des champs électromagnétiques basse fréquence sont données dans la CEI 61786.

Le présente rapport technique couvre l'évaluation dans des conditions d'usine ou de laboratoire avant installation. Les champs électrique et magnétique peuvent être évalués soit par mesures soit par calculs.

NOTE 2 Lorsque cela est possible, les méthodes décrites dans ce rapport technique peuvent aussi être utilisées pour l'installation sur site.

L'établissement de valeurs limites de champs électromagnétiques ou de méthodes pour l'évaluation de l'exposition des êtres humains ne sont pas dans le domaine d'application de ce rapport technique.

2 Références normatives

CEI 61000-6-2, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 6-2: Normes génériques – Immunité pour les environnements industriels*

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*

CEI 62271-200, *Appareillage à haute tension – Partie 200: Appareillage sous enveloppe métallique pour courant alternatif de tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures ou égales à 52 kV*

CEI 62271-201, *Appareillage à haute tension – Partie 201: Appareillage sous enveloppe isolante pour courant alternatif de tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures ou égales à 52 kV*

CEI 62271-202, *Appareillage à haute tension – Partie 202: Postes préfabriqués haute tension/ basse tension*