

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

62305-4

Première édition
First edition
2006-01

Protection contre la foudre –

**Partie 4:
Réseaux de puissance et de communication
dans les structures**

Protection against lightning –

**Part 4:
Electrical and electronic systems
within structures**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 62305-4:2006

Numérotation des publications

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

Editions consolidées

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

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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

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

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

- **IEC Just Published**

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

- **Service clients**

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

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

Publication numbering

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

Consolidated editions

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

Further information on IEC publications

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

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

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

- **IEC Just Published**

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

- **Customer Service Centre**

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

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

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

62305-4

Première édition
First edition
2006-01

Protection contre la foudre –

**Partie 4:
Réseaux de puissance et de communication
dans les structures**

Protection against lightning –

**Part 4:
Electrical and electronic systems
within structures**

© IEC 2006 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE **XD**

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	8
INTRODUCTION.....	12
1 Domaine d'application	16
2 Références normatives.....	16
3 Termes et définitions	18
4 Conception et mise en œuvre des systèmes de mesures de protection contre l'IEMF	24
4.1 Conception d'un système de mesures de protection contre l'IEMF (SMPI).....	30
4.2 Zones de protection contre la foudre (ZPF)	30
4.3 Mesures de protection fondamentales des SMPI	38
5 Mise à la terre et équipotentialité.....	38
5.1 Système de prises de terre.....	40
5.2 Réseau d'équipotentialité	44
5.3 Barres d'équipotentialité.....	54
5.4 Equipotentialité à la frontière d'une ZPF	54
5.5 Matériaux et dimensions des éléments d'équipotentialité.....	54
6 Ecrans magnétiques et cheminement	56
6.1 Ecran spatial	56
6.2 Ecran des lignes internes	56
6.3 Cheminement des lignes internes.....	56
6.4 Ecran des lignes externes	58
6.5 Matériaux et dimensions des écrans magnétiques	58
7 Parafoudres coordonnés.....	58
8 Gestion d'un SMPI.....	60
8.1 Méthode de gestion d'un SMPI.....	60
8.2 Inspection d'un SMPI	64
8.3 Maintenance.....	66
 Annexe A (informative) Eléments essentiels pour l'évaluation de l'environnement électromagnétique dans une ZPF.....	 68
Annexe B (informative) Amélioration des mesures de protection contre l'IEMF dans	
Annexe C (informative) Coordination des parafoudres	154
Annexe D (informative) Choix et mise en œuvre de parafoudres coordonnés	190
 Bibliographie.....	 200
 Figure 1 – Principe général de répartition en diverses ZPF	 24
Figure 2 – Protection contre l'IEMF – Exemples de mesures de protection possibles contre l'IEMF (SMPI)	28
Figure 3 – Exemples de ZPF interconnectées	34
Figure 4 – Exemples de ZPF étendues	36
Figure 5 – Exemple de réseau de mise à la terre tridimensionnel associant la prise de terre et les équipotentialités interconnectées	40
Figure 6 – Prise de terre maillée d'une implantation.....	42

CONTENTS

FOREWORD.....	9
INTRODUCTION.....	13
1 Scope.....	17
2 Normative references	17
3 Terms and definitions	19
4 Design and installation of a LEMP protection measures system (LPMS).....	25
4.1 Design of an LPMS.....	31
4.2 Lightning protection zones (LPZ).....	31
4.3 Basic protection measures in an LPMS	39
5 Earthing and bonding	39
5.1 Earth termination system.....	41
5.2 Bonding network.....	45
5.3 Bonding bars	55
5.4 Bonding at the boundary of an LPZ	55
5.5 Material and dimensions of bonding components.....	55
6 Magnetic shielding and line routing.....	57
6.1 Spatial shielding.....	57
6.2 Shielding of internal lines	57
6.3 Routing of internal lines.....	57
6.4 Shielding of external lines	59
6.5 Material and dimensions of magnetic shields.....	59
7 Coordinated SPD protection	59
8 Management of an LPMS	61
8.1 LPMS management plan	61
8.2 Inspection of an LPMS	65
8.3 Maintenance.....	67
Annex A (informative) Basics for evaluation of electromagnetic environment in a LPZ	69
Annex B (informative) Implementation of LEMP protection measures for electronic systems in existing structures	121
Annex C (informative) SPD coordination	155
Annex D (informative) Selection and installation of a coordinated SPD protection	191
Bibliography.....	201
Figure 1 – General principle for the division into different LPZ	25
Figure 2 – Protection against LEMP – Examples of possible LEMP protection measures systems (LPMS)	29
Figure 3 – Examples for interconnected LPZ.....	35
Figure 4 – Examples for extended lightning protection zones	37
Figure 5 – Example of a three-dimensional earthing system consisting of the bonding network interconnected with the earth termination system.....	41
Figure 6 – Meshed earth termination system of a plant	43

Figure 7 – Utilisation des armatures d’une structure pour les équipotentialités.....	46
Figure 8 – Equipotentialité dans une structure avec armature en acier.....	48
Figure 9 – Intégration des réseaux électroniques dans l’équipotentialité	50
Figure 10 – Associations de méthodes d’incorporation des réseaux de communication dans le réseau d’équipotentialité.....	52
Figure A.1 – Situation de l’IEMF due à un impact de foudre	72
Figure A.2 – Simulation de l’élévation du champ magnétique dû à des oscillations amorties	76
Figure A.3 – Ecran à large volume réalisé par armatures et ossatures métalliques	78
Figure A.4 – Volume pour les réseaux de puissance et de communication d’une ZPF n intérieure	80
Figure A.5 – Réduction des effets d’induction par des dispositions de cheminement et d’écran	84
Figure A.6 – Exemple de SMPI d’un immeuble de bureaux	86
Figure A.7 – Evaluation du champ magnétique en cas de coup de foudre direct	90
Figure A.8 – Evaluation du champ magnétique dans le cas de coup de foudre proche	94
Figure A.9 – Distance s_a en fonction du rayon de la sphère fictive et des dimensions de la structure.....	100
Figure A.10 – Types de volumes d’écrans en grille de grandes dimensions	104
Figure A.11 – Intensité du champ magnétique $H_{1/\max}$ dans un écran en grille de Type 1... 106	
Figure A.12 – Intensité du champ magnétique $H_{1/\max}$ dans un écran en grille de Type 1 Dans tous les cas, il est supposé un courant de foudre maximal $i_{o/\max} = 100$ kA. Dans les deux figures, $H_{1/\max}$ est le champ magnétique maximal en un point dû à ses composantes H_x , H_y et H_z :.....	106
Figure A.13 – Essai à bas niveau pour déterminer le champ magnétique dans une structure avec écran	110
Figure A.14 – Tensions et courants induits dans une boucle due aux réseaux	112
Figure B.1 – Amélioration des mesures de protection contre l’IEMF et compatibilité électromagnétique dans des structures existantes	124
Figure B.2 – Possibilités de création de ZPF dans des structures existantes	136
Figure B.3 – Réduction des dimensions de la boucle en utilisant des câbles écrantés proches d’un panneau métallique.....	140
Figure B.4 – Exemple de panneau métallique utilisé comme écran complémentaire.....	142
Figure B.5 – Protection d’antennes et autres équipements externes	146
Figure B.6 – Ecran naturel fourni par des échelles et canalisations mises à la terre.....	148
Figure B.7 – Emplacements idéaux pour des lignes sur un mât (section des mâts en acier)	150
Figure C.1 – Exemple de mise en œuvre de parafoudres dans un réseau de puissance.....	156
Figure C.2 – Modèle de base de coordination en énergie de parafoudres	160
Figure C.3 – Association de base de deux parafoudres à limitation de tension.....	162
Figure C.4 – Exemple avec courant de deux parafoudres à limitation en tension	166
Figure C.5 – Association d’un éclateur en coupure de tension et d’une varistance à coupure de tension	168
Figure C.6 – Exemple d’éclateur en coupure de tension et de varistance en limitation de tension.....	170
Figure C.7 – Principe pour la détermination de l’inductance de découplage pour des chocs de 10/350 μ s et 0,1 kA/ μ s	172
Figure C.8 – Exemple de coordination d’un éclateur et d’une varistance en onde de choc 10/350 μ s	176

Figure 7 – Utilization of reinforcing rods of a structure for equipotential bonding	47
Figure 8 – Equipotential bonding in a structure with steel reinforcement	49
Figure 9 – Integration of electronic systems into the bonding network	51
Figure 10 – Combinations of integration methods of electronic systems into the bonding network	53
Figure A.1 – LEMP situation due to lightning flash	73
Figure A.2 – Simulation of the rise of magnetic field by damped oscillations	77
Figure A.3 – Large volume shield built by metal reinforcement and metal frames	79
Figure A.4 – Volume for electrical and electronic systems inside an inner LPZ n	81
Figure A.5 – Reducing induction effects by line routing and shielding measures	85
Figure A.6 – Example of an LPMS for an office building	87
Figure A.7 – Evaluation of the magnetic field values in case of a direct lightning flash	91
Figure A.8 – Evaluation of the magnetic field values in case of a nearby lightning flash	95
Figure A.9 – Distance s_a depending on rolling sphere radius and structure dimensions	101
Figure A.10 – Types of grid-like large volume shields	105
Figure A.11 – Magnetic field strength $H_{1/\max}$ inside a grid-like shield Type 1	107
Figure A.12 – Magnetic field strength $H_{1/\max}$ inside a grid-like shield Type 1	107
Figure A.13 – Low-level test to evaluate the magnetic field inside a shielded structure	111
Figure A.14 – Voltages and currents induced into a loop built by lines	113
Figure B.1 – Upgrading of LEMP protection measures and electromagnetic compatibility in existing structures	125
Figure B.2 – Possibilities to establish LPZs in existing structures	137
Figure B.3 – Reduction of loop area using shielded cables close to a metal plate	141
Figure B.4 – Example of a metal plate for additional shielding	143
Figure B.5 – Protection of aerials and other external equipment	147
Figure B.6 – Inherent shielding provided by bonded ladders and pipes	149
Figure B.7 – Ideal positions for lines on a mast (cross-section of steel lattice mast)	151
Figure C.1 – Example for the application of SPD in power distribution systems	157
Figure C.2 – Basic model for energy coordination of SPD	161
Figure C.3 – Combination of two voltage-limiting type SPDs	163
Figure C.4 – Example with two voltage-limiting type MOV 1 and MOV 2	167
Figure C.5 – Combination of voltage-switching type spark gap and voltage-limiting type MOV	169
Figure C.6 – Example with voltage-switching type spark gap and voltage-limiting type MOV	171
Figure C.7 – Determination of decoupling inductance for 10/350 μs and 0,1kA/ μs surges ...	173
Figure C.8 – Example with spark gap and MOV for a 10/350 μs surge	177

Figure C.9 – Exemple de coordination entre un éclateur et une varistance en choc
0,1 kA/μs 180

Figure C.10 – Principe de coordination selon la variante I – Parafoudre à limitation en
tension..... 182

Figure C.11 – Principe de coordination selon la variante II – Parafoudre à limitation en
tension..... 184

Figure C.12 – Principe de coordination selon la variante III – SPD à coupure de
tension/SPD à limitation en tension..... 184

Figure C.13 – Principe de coordination selon la variante IV – Plusieurs SPD dans un
seul élément 186

Figure C.14 – Principe de coordination selon la méthode de l'«énergie passante» 186

Figure D.1 – Surtension entre un conducteur actif et la borne de terre..... 192

Figure C.9 – Example with spark gap and MOV for 0,1kA/μs surge 181

Figure C.10 – Coordination variant I – Voltage-limiting type SPD 183

Figure C.11 – Coordination variant II – Voltage-limiting type SPD 185

Figure C.12 – Coordination variant III – Voltage-switching type SPD and voltage-limiting type SPD 185

Figure C.13 – Coordination variant IV – Several SPDs in one element..... 187

Figure C.14 – Coordination according to the “let through energy” method 187

Figure D.1 – Surge voltage between live conductor and bonding bar 193

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PROTECTION CONTRE LA Foudre –

Partie 4: Réseaux de puissance et de communication dans les structures

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 62305-4 a été établie par le comité d'études 81 de la CEI: Protection contre la foudre.

La série CEI 62305 (Parties 1 à 5), est établie conformément au Nouveau Plan de Publications, approuvé par les Comités nationaux (81/171/RQ (2001-06-29)). Ce plan restructure et met à jour, sous une forme simple et rationnelle, les publications de la série CEI 61024, de la série CEI 61312 et de la série CEI 61663.

Le texte de cette première édition de la CEI 62305-4 est élaboré à partir des normes suivantes et les remplace:

- CEI 61312-1, première édition (1995);
- CEI 61312-2, première édition (1998);
- CEI 61312-3, première édition (2000);
- CEI 61312-4, première édition (1998).

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

PROTECTION AGAINST LIGHTNING –**Part 4: Electrical and electronic systems within structures**

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 62305-4 has been prepared by IEC technical committee 81: Lightning protection.

The IEC 62305 series (Parts 1 to 5), is produced in accordance with the New Publications Plan, approved by National Committees (81/171/RQ (2001-06-29)), which restructures in a more simple and rational form and updates the publications of the IEC 61024 series, IEC 61312 series and the IEC 61663 series.

The text of this first edition of IEC 62305-4 is compiled from and replaces

- IEC 61312-1, first edition (1995);
- IEC 61312-2, first edition (1998);
- IEC 61312-3, first edition (2000);
- IEC 61312-4, first edition (1998).

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
81/265/FDIS	81/270/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, aussi fidèlement que possible, selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

La CEI 62305 comprend les parties suivantes, sous le titre général *Protection contre la foudre*:

Partie 1: Principes généraux

Partie 2: Evaluation du risque

Partie 3: Dommages physiques sur les structures et risques humains

Partie 4: Réseaux de puissance et de communication dans les structures

Partie 5: Services¹

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.

¹ A publier.

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

FDIS	Report on voting
81/265/FDIS	81/270/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, as close as possible, in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

IEC 62305 consists of the following parts, under the general title *Protection against lightning*:

Part 1: General principles

Part 2: Risk management

Part 3: Physical damage to structures and life hazard

Part 4: Electrical and electronic systems within structures

Part 5: Services¹

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.

¹ To be published.

INTRODUCTION

La foudre, en tant que source de dégradation, est un phénomène à très forte énergie. Les chocs de foudre libèrent une énergie de plusieurs centaines de mégajoules. Si l'on compare avec une valeur de l'ordre de quelques millijoules suffisante pour affecter un équipement électronique sensible dans des réseaux de puissance et de communication à l'intérieur d'une structure, il est évident que des mesures de protection complémentaires seront nécessaires pour la protection de certains matériels.

Le besoin de la présente Norme internationale s'est fait sentir en raison de l'accroissement des coûts de défaillances des réseaux de puissance et de communication dus aux effets du champ électromagnétique de la foudre. De tels réseaux sont utilisés dans de nombreux commerces, industries, y compris les usines de fabrication de valeur considérable, de dimensions et de complexité variables (pour lesquelles les arrêts sont indésirables pour des raisons de coût et de sécurité).

La foudre peut entraîner, dans une structure, divers types de dommages définis dans la CEI 62305-2:

- D1 blessures d'êtres vivants en raison des tensions de contact et de pas;
- D2 dommages physiques dus aux effets mécaniques, thermiques, chimiques et explosifs;
- D3 défaillances des réseaux de puissance et de communication dues aux effets électromagnétiques.

La CEI 62305-3 traite des mesures de protection pour la réduction du risque de dommages physiques et de mort mais ne traite pas de la protection des réseaux de puissance et de communication.

La présente Partie 4 de la CEI 62305 donne donc des informations sur les mesures de protection pour la réduction du risque de défaillance permanente des réseaux de puissance et de communication dans les structures.

Les défaillances permanentes des réseaux de puissance et de communication peuvent être dues à l'impulsion électromagnétique de foudre (IEMF) par:

- a) les chocs conduits et induits transmis aux matériels par les câblages de connexion;
- b) les effets des champs rayonnés directement dans les matériels.

Les chocs peuvent être générés à l'intérieur ou à l'extérieur de la structure:

- les chocs à l'extérieur de la structure sont générés par des impacts de foudre sur les lignes entrantes ou sur le sol à proximité de la structure et sont transmis aux réseaux de puissance et de communication via ces lignes;
- les chocs à l'intérieur de la structure sont dus aux impacts de foudre sur la structure et sur le sol à proximité de la structure.

Le couplage peut être dû à plusieurs mécanismes:

- couplage résistif (par exemple dû à l'impédance de la prise de terre de la structure ou à la résistance des blindages des câbles);
- couplage magnétique (par exemple dû à des boucles dans les réseaux de puissance et de communication ou à l'inductance des conducteurs d'équipotentialité);
- couplage électrique (par exemple dû aux antennes de réception).

NOTE Les effets de couplage de champs électriques sont généralement très faibles si l'on compare au couplage des champs magnétiques et peuvent être négligés.

INTRODUCTION

Lightning as a source of harm is a very high-energy phenomenon. Lightning flashes release many hundreds of mega-joules of energy. When compared with the milli-joules of energy that may be sufficient to cause damage to sensitive electronic equipment in electrical and electronic systems within a structure, it is clear that additional protection measures will be necessary to protect some of this equipment.

The need for this International Standard has arisen due to the increasing cost of failures of electrical and electronic systems, caused by electromagnetic effects of lightning. Of particular importance are electronic systems used in data processing and storage as well as process control and safety for plants of considerable capital cost, size and complexity (for which plant outages are very undesirable for cost and safety reasons).

Lightning can cause different types of damage in a structure, as defined in IEC 62305-2:

- D1 injuries to living beings due to touch and step voltages;
- D2 physical damage due to mechanical, thermal, chemical and explosive effects;
- D3 failures of electrical and electronic systems due to electromagnetic effects.

IEC 62305-3 deals with the protection measures to reduce the risk of physical damage and life hazard, but does not cover the protection of electrical and electronic systems.

This Part 4 of IEC 62305 therefore provides information on protection measures to reduce the risk of permanent failures of electrical and electronic systems within structures.

Permanent failure of electrical and electronic systems can be caused by the lightning electromagnetic impulse (LEMP) via:

- a) conducted and induced surges transmitted to apparatus via connecting wiring;
- b) the effects of radiated electromagnetic fields directly into apparatus itself.

Surges to the structure can be generated externally or internally:

- surges external to the structure are created by lightning flashes striking incoming lines or the nearby ground, and are transmitted to electrical and electronic systems via these lines;
- surges internal to the structure are created by lightning flashes striking the structure or the nearby ground.

The coupling can arise from different mechanisms:

- resistive coupling (e.g. the earth impedance of the earth termination system or the cable shield resistance);
- magnetic field coupling (e.g. caused by wiring loops in the electrical and electronic system or by inductance of bonding conductors);
- electric field coupling (e.g. caused by rod antenna reception).

NOTE The effects of electric field coupling are generally very small when compared to the magnetic field coupling and can be disregarded.

Les champs électromagnétiques rayonnés peuvent être dus à:

- l'écoulement du courant direct de foudre dans le canal de foudre,
- l'écoulement de courants partiels de foudre dans des conducteurs (par exemple dans les conducteurs de descente d'un SPF extérieur conforme à la CEI 62305-3 ou dans un écran spatial extérieur conforme à la présente norme).

Radiated electromagnetic fields can be generated via

- the direct lightning current flowing in the lightning channel,
- the partial lightning current flowing in conductors (e.g. in the down conductors of an external LPS according to IEC 62305-3 or in an external spatial shield according to this standard).

PROTECTION CONTRE LA Foudre –

Partie 4: Réseaux de puissance et de communication dans les structures

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 62305 fournit des informations relatives à la conception, à l'installation, à l'inspection, à la maintenance et aux essais d'une installation de protection contre l'impulsion électromagnétique de foudre (IEMF). Ces installations seront adoptées dans une structure pour réduire le risque permanent de défaillances des réseaux de puissance et de communication dû aux impulsions électromagnétiques de foudre.

Cette norme ne traite pas de la protection contre les perturbations électromagnétiques dues à la foudre et susceptibles d'entraîner des dysfonctionnements des réseaux de communication. Toutefois, les informations de l'Annexe A peuvent être utilisées pour évaluer ces perturbations. Les mesures de protection contre les interférences électromagnétiques sont traitées dans la CEI 60364-4-44 et dans la série CEI 61000 [1]².

La présente norme donne des lignes directrices pour la coopération entre le concepteur des réseaux de puissance et de communication et le concepteur des mesures de protection pour essayer d'obtenir la protection la plus efficace.

Cette norme ne traite pas de la conception détaillée des réseaux de puissance et de communication eux-mêmes.

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 60364-4-44:2001, *Installations électriques des bâtiments – Partie 4-44: Protection pour assurer la sécurité – Protection contre les interférences électromagnétiques*

CEI 60364-5-53:2001, *Installations électriques des bâtiments – Partie 5-53: Choix et mise en œuvre des matériels électriques – Sectionnement, coupure et commande*

CEI 60664-1:2002, *Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension – Partie 1: Principes, prescriptions et essais*

CEI 61000-4-5:1995, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-5: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux ondes de choc*

CEI 61000-4-9:1993, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-9: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité au champ magnétique impulsionnel*

CEI 61000-4-10:1993, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-10: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité au champ magnétique oscillatoire amorti*

² Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

PROTECTION AGAINST LIGHTNING –

Part 4: Electrical and electronic systems within structures

1 Scope

This part of IEC 62305 provides information for the design, installation, inspection, maintenance and testing of a LEMP protection measures system (LPMS) for electrical and electronic systems within a structure, able to reduce the risk of permanent failures due to lightning electromagnetic impulse.

This standard does not cover protection against electromagnetic interference due to lightning, which may cause malfunctioning of electronic systems. However, the information reported in Annex A can also be used to evaluate such disturbances. Protection measures against electromagnetic interference are covered in IEC 60364-4-44 and in the IEC 61000 series [1]².

This standard provides guidelines for cooperation between the designer of the electrical and electronic system, and the designer of the protection measures, in an attempt to achieve optimum protection effectiveness.

This standard does not deal with detailed design of the electrical and electronic systems themselves.

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 60364-4-44:2001, *Electrical installations of buildings – Part 4-44: Protection for safety – Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances*

IEC 60364-5-53:2001, *Electrical installations of building – Part 5-53: Selection and erection of electrical equipment– Isolation, switching and control*

IEC 60664-1:2002, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests*

IEC 61000-4-5:1995, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-5: Testing and measurement techniques – Surge immunity test*

IEC 61000-4-9:1993, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-9: Testing and measurement techniques – Pulse magnetic field immunity test*

IEC 61000-4-10:1993, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-10: Testing and measurement techniques – Damped oscillatory magnetic field immunity test*

² Figures in square brackets refer to the bibliography.

CEI 61000-5-2:1997, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 5: Guides d'installation et d'atténuation – Section 2: Mise à la terre et câblage*

CEI 61643-1:1998, *Dispositifs de protection contre les surtensions connectés aux réseaux de distribution basse tension – Partie 1: Prescriptions de fonctionnement et méthodes d'essai*

CEI 61643-12: 2002, *Parafoudres basse tension – Partie 12: Parafoudres connectés aux réseaux de distribution basse tension – Principes de choix et d'application*

CEI 61643-21:2000, *Parafoudres basse tension – Partie 21: Parafoudres connectés aux réseaux de signaux et de télécommunications – Prescriptions de fonctionnement et méthodes d'essais*

CEI 61643-22:2004, *Parafoudres basse tension – Partie 22: Parafoudres connectés aux réseaux de signaux et de télécommunications – Principes de choix et d'application*

CEI 62305-1, *Protection contre la foudre – Partie 1: Principes généraux*

CEI 62305-2, *Protection contre la foudre – Partie 2: Evaluation du risque*

CEI 62305-3, *Protection contre la foudre – Partie 3: Dommages physiques sur les structures et risques humains*

UIT-T Recommandation K.20:2003, *Immunité des équipements de télécommunication des centres de télécommunication aux surtensions et aux surintensités*

UIT-T Recommandation K.21:2003, *Immunité des équipements de télécommunication installés dans les locaux d'abonné aux surtensions et aux surintensités*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants, ainsi que ceux donnés dans les différentes parties de la CEI 62305, s'appliquent.

3.1

réseau de puissance

réseau comprenant des composants de l'alimentation de puissance basse tension

3.2

réseau de communication

réseau comprenant des composants électroniques sensibles tel que matériels de communication, systèmes d'ordinateurs, de commande et d'instrumentation, systèmes radio et installations d'électronique de puissance

3.3

réseau interne

réseaux de puissance et électroniques à l'intérieur d'une structure

3.4

impulsion électromagnétique de foudre

IEMF

effets électromagnétiques dus au courant de foudre

NOTE Elle comprend les chocs conduits ainsi que les effets induits du champ magnétique.

IEC 61000-5-2:1997, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 5: Installation and mitigation guidelines – Section 2: Earthing and cabling*

IEC 61643-1:1998, *Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems – Part 1: Performance requirements and testing methods*

IEC 61643-12:2002, *Low-voltage surge protective devices – Part 12: Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems – Selection and application principles*

IEC 61643-21:2000, *Low voltage surge protective devices – Part 21: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks – Performance requirements and testing methods*

IEC 61643-22:2004, *Low voltage surge protective devices – Part 22: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks – Part 22: Selection and application principles*

IEC 62305-1, *Protection against lightning. Part 1: General principles*

IEC 62305-2, *Protection against lightning. Part 2: Risk management*

IEC 62305-3, *Protection against lightning. Part 3: Physical damage to structures and life hazard*

ITU-T Recommendation K.20:2003, *Resistibility of telecommunication equipment installed in a telecommunications centre to overvoltages and overcurrents*

ITU-T Recommendation K.21:2003, *Resistibility of telecommunication equipment installed in customer premises to overvoltages and overcurrent*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions, as well as those given in other parts of IEC 62305, apply.

3.1

electrical system

system incorporating low voltage power supply components

3.2

electronic system

system incorporating sensitive electronic components such as communication equipment, computer, control and instrumentation systems, radio systems, power electronic installations

3.3

internal systems

electrical and electronic systems within a structure

3.4

lightning electromagnetic impulse

LEMP

electromagnetic effects of lightning current

NOTE It includes conducted surges as well as radiated impulse electromagnetic field effects.

3.5

choc

onde transitoire créant une surtension et/ou une surintensité due à l'IEMF

NOTE Les chocs dus à l'IEMF peuvent être provoqués par des courants (partiels) de foudre, à partir d'effets inductifs dans les boucles de l'installation et comme menace restante en aval des parafoudres.

3.6

tenue assignée au choc

U_w

tension donnée par le constructeur de l'équipement ou d'une partie de l'équipement, caractérisant la tenue spécifiée de son isolation contre les surtensions

NOTE Pour les besoins de la présente norme, seule la tension assignée entre les conducteurs actifs et la terre est considérée.

3.7

niveau de protection contre la foudre

NPF

chiffre lié à l'ensemble de paramètres du courant de foudre et relatif à la probabilité que les valeurs minimales et maximales prévues ne seront pas dépassées lors d'apparition naturelle d'orages

NOTE Un niveau de protection contre la foudre est utilisé pour prévoir des mesures de protection conformément à l'ensemble des paramètres du courant de foudre.

3.8

zone de protection contre la foudre

ZPF

zone dont l'environnement électromagnétique est défini

NOTE Les limites d'une ZPF ne sont pas forcément les limites physiques (par exemple les parois, le sol ou le plafond).

3.9

système de mesures de protection contre l'IEMF

SMPI

ensemble complet des mesures de protection contre l'IEMF pour les réseaux intérieurs

3.10

écran spatial en grille

écran magnétique caractérisé par ses ouvertures

NOTE Pour un bâtiment ou un local, il est, de préférence, réalisé par interconnexion de composants métalliques normaux de la structure (par exemple armatures du béton, encadrements et supports métalliques).

3.11

prise de terre

partie de l'installation extérieure destinée à conduire et à dissiper le courant de décharge atmosphérique à la terre

3.12

réseau d'équipotentialité

réseau de conducteurs reliant les parties conductrices de la structure et des réseaux internes (à l'exclusion des conducteurs actifs) à la prise de terre

3.13

réseau de terre

réseau associant la prise de terre et le réseau d'équipotentialité

3.14

parafoudre

(SPD, en anglais)

dispositif conçu pour limiter les surtensions transitoires et évacuer les courants de choc. Il comporte au moins un composant non linéaire

3.5**surge**

transient wave appearing as overvoltage and/or overcurrent caused by LEMP

NOTE Surges caused by LEMP can arise from (partial) lightning currents, from induction effects in installation loops and as a remaining threat downstream of SPD.

3.6**rated impulse withstand voltage level** U_w

impulse withstand voltage assigned by the manufacturer to the equipment or to a part of it, characterizing the specified withstand capability of its insulation against overvoltages

NOTE For the purposes of this standard, only withstand voltage between live conductors and earth is considered.

3.7**lightning protection level**

LPL

number related to a set of lightning current parameters values relevant to the probability that the associated maximum and minimum design values will not be exceeded in naturally occurring lightning

NOTE Lightning protection level is used to design protection measures according to the relevant set of lightning current parameters.

3.8**lightning protection zone**

LPZ

zone where the lightning electromagnetic environment is defined

NOTE The zone boundaries of an LPZ are not necessarily physical boundaries (e.g. walls, floor and ceiling).

3.9**LEMP protection measures system**

LPMS

complete system of protection measures for internal systems against LEMP

3.10**grid-like spatial shield**

magnetic shield characterized by openings

NOTE For a building or a room, it is preferably built by interconnected natural metal components of the structure (e.g. rods of reinforcement in concrete, metal frames and metal supports).

3.11**earth-termination system**

part of an external LPS which is intended to conduct and disperse lightning current into the earth

3.12**bonding network**

interconnecting network of all conductive parts of the structure and of internal systems (live conductors excluded) to the earth-termination system

3.13**earthing system**

complete system combining the earth-termination system and the bonding network

3.14**surge protective device**

SPD

device intended to limit transient overvoltages and divert surge currents. It contains at least one non linear component

3.15**parafoudre testé sous I_{imp}**

parafoudre résistant à un courant de foudre partiel d'onde typique 10/350 μ s nécessitant un courant correspondant d'essai de choc I_{imp}

NOTE Pour les réseaux de puissance, un courant adapté d'essai I_{imp} est défini dans la méthode d'essai de Classe I de la CEI 61643-1.

3.16**parafoudre testé sous I_n**

parafoudre résistant à des courants de choc d'onde typique 8/20 μ s nécessitant un courant correspondant d'essai de choc I_n

NOTE Pour les réseaux de puissance, un courant adapté d'essai I_n est défini dans la méthode d'essai de Classe II de la CEI 61643-1.

3.17**parafoudre testé en onde combinée**

parafoudre résistant à des courants de choc induits d'onde typique 8/20 μ s nécessitant un courant correspondant d'essai de choc I_{sc}

NOTE Pour les réseaux de puissance, une onde combinée d'essai est définie dans la méthode d'essai de Classe III de la CEI 61643-1 définissant la tension en circuit ouvert U_{oc} 1,2/50 μ s et le courant de court-circuit I_{sc} 8/20 μ s d'un générateur d'onde combinée de 2 Ω .

3.18**parafoudre de type coupure en tension**

parafoudre présentant une impédance élevée en l'absence de choc, qui peut chuter rapidement en réponse à un choc

NOTE 1 Des composants habituels utilisés comme dispositifs à coupure en tension sont par exemple les éclateurs, les tubes à gaz, les thyristors silicium (redresseurs silicium) et les triacs. Ces parafoudres peuvent être parfois dits «de type crowbar».

NOTE 2 Un parafoudre de type coupure en tension présente une caractéristique tension/courant discontinue.

3.19**parafoudre de type limitation de tension**

parafoudre présentant une impédance élevée en l'absence de choc, mais qui diminue de manière continue avec un courant et une tension de choc croissants

NOTE 1 Des exemples habituels de composants utilisés comme dispositifs non linéaires sont les varistances et les diodes écrêteuses. Ces parafoudres peuvent être parfois dits «de type clamping».

NOTE 2 Un parafoudre de type limitation en tension présente une caractéristique tension/courant continue.

3.20**parafoudre de type combiné**

parafoudre comprenant des composants de type coupure en tension et de type limitation de tension et pouvant couper en tension, limiter en tension ou effectuer les deux à la fois, et dont le comportement dépend des caractéristiques de la tension appliquée

3.21**protection par parafoudres coordonnés**

ensemble de parafoudres coordonnés choisis de manière appropriée et mis en œuvre pour la protection contre les chocs des réseaux de puissance et de communication

3.15**SPD tested with I_{imp}**

SPDs which withstand the partial lightning current with a typical waveform 10/350 μ s require a corresponding impulse test current I_{imp}

NOTE For power lines, a suitable test current I_{imp} is defined in the Class I test procedure of IEC 61643-1.

3.16**SPD tested with I_n**

SPDs which withstand induced surge currents with a typical waveform 8/20 μ s require a corresponding impulse test current I_n

NOTE For power lines a suitable test current I_n is defined in the Class II test procedure of IEC 61643-1.

3.17**SPD tested with a combination wave**

SPDs that withstand induced surge currents with a typical waveform 8/20 μ s and require a corresponding impulse test current I_{sc}

NOTE For power lines a suitable combination wave test is defined in the Class III test procedure of IEC 61643-1 defining the open circuit voltage U_{oc} 1,2/50 μ s and the short-circuit current I_{sc} 8/20 μ s of an 2 Ω combination wave generator.

3.18**voltage switching type SPD**

SPD that has a high impedance when no surge is present, but can have a sudden change in impedance to a low value in response to a voltage surge

NOTE 1 Common examples of components used as voltage switching devices include spark gaps, gas discharge tubes (GDT), thyristors (silicon controlled rectifiers) and triacs. These SPD are sometimes called "crowbar type".

NOTE 2 A voltage switching device has a discontinuous voltage/current characteristic.

3.19**voltage-limiting type SPD**

SPD that has a high impedance when no surge is present, but will reduce it continuously with increased surge current and voltage

NOTE 1 Common examples of components used as non-linear devices are varistors and suppressor diodes. These SPDs are sometimes called "clamping type".

NOTE 2 A voltage-limiting device has a continuous voltage/current characteristic.

3.20**combination type SPD**

SPD that incorporates both voltage-switching and voltage-limiting type components and which may exhibit voltage-switching, voltage-limiting or both voltage-switching and voltage-limiting behaviour, depending upon the characteristics of the applied voltage

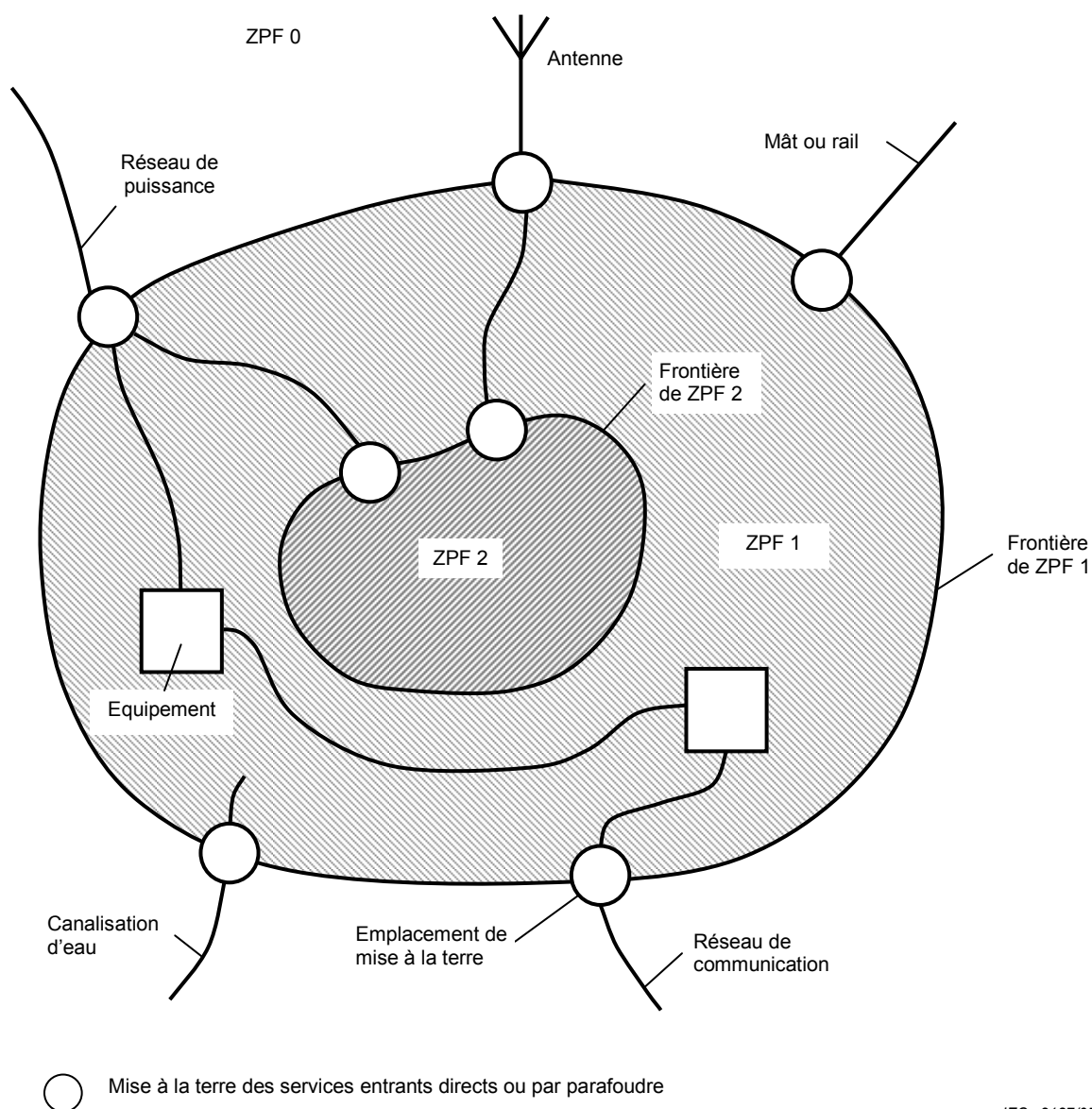
3.21**coordinated SPD protection**

set of SPD properly selected, coordinated and installed to reduce failures of electrical and electronic systems

4 Conception et mise en œuvre des systèmes de mesures de protection contre l'IEMF

Les réseaux de puissance et de communication sont mis en danger par l'impulsion électromagnétique de foudre (IEMF). C'est pourquoi des mesures de protection contre l'IEMF doivent être prévues pour éviter des défaillances des réseaux internes.

La protection contre l'IEMF se fonde sur le concept de zone de protection contre la foudre (ZPF): volume où existent des réseaux internes à protéger et à diviser en ZPF. Ces zones sont théoriquement des volumes spécifiés de sévérités IEMF compatibles avec leur niveau d'immunité (voir Figure 1). Les zones successives sont caractérisées par des modifications significatives de la sévérité IEMF. Les frontières d'une ZPF sont définies par les mesures de protection utilisées (voir Figure 2).



IEC 2187/05

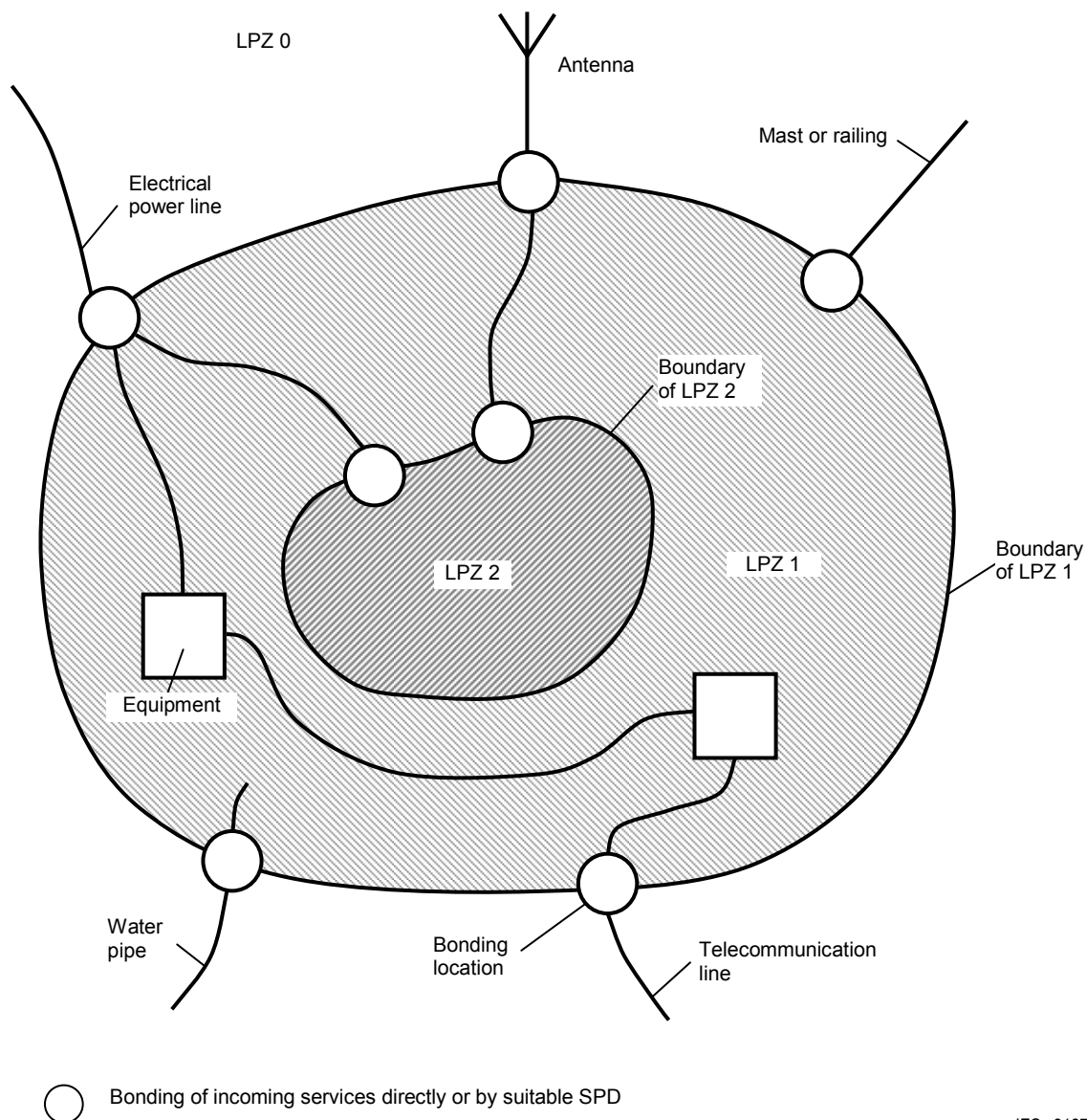
NOTE Cette figure montre un exemple de partition d'une structure en ZPF intérieures. Les services métalliques pénétrant dans la structure sont mis à la terre par des bornes à l'entrée de la ZPF 1. De plus, les services métalliques entrant dans la ZPF 2 (par exemple salle d'ordinateurs) sont mis à la terre par des bornes d'équipotentialité à l'entrée de la ZPF 2.

Figure 1 – Principe général de répartition en diverses ZPF

4 Design and installation of a LEMP protection measures system (LPMS)

Electrical and electronic systems are subject to damage from the lightning electromagnetic impulse (LEMP). Therefore LEMP protection measures need to be provided to avoid failure of internal systems.

Protection against LEMP is based on the lightning protection zone (LPZ) concept: the volume containing systems to be protected shall be divided into LPZ. These zones are theoretically assigned volumes of space where the LEMP severity is compatible with the withstand level of the internal systems enclosed (see Figure 1). Successive zones are characterized by significant changes in the LEMP severity. The boundary of an LPZ is defined by the protection measures employed (see Figure 2).



IEC 2187/05

NOTE This figure shows an example for dividing a structure into inner LPZs. All metal services entering the structure are bonded via bonding bars at the boundary of LPZ 1. In addition, the conductive services entering LPZ 2 (e.g. computer room) are bonded via bonding bars at the boundary of LPZ 2.

Figure 1 – General principle for the division into different LPZ

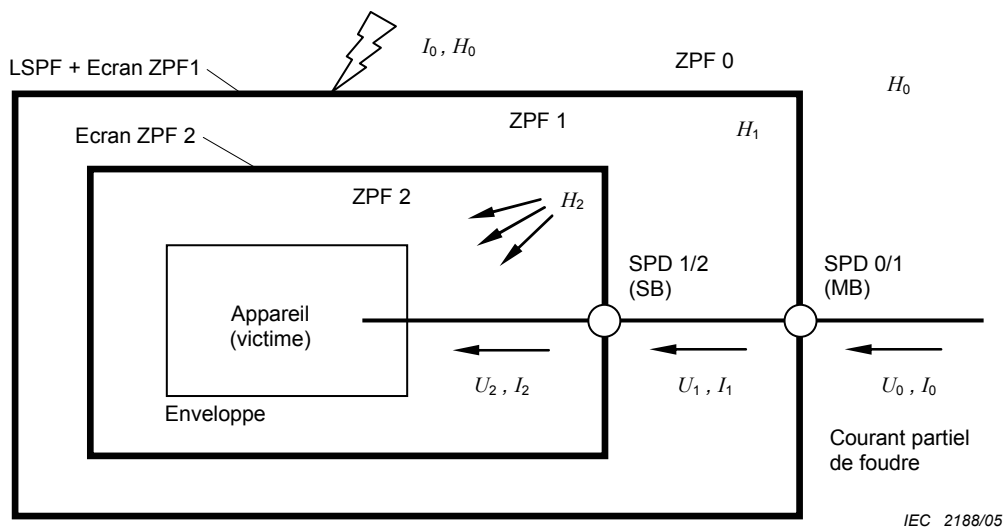


Figure 2a – SMPI utilisant des écrans spatiaux et une protection coordonnée par parafoudres – Matériels protégés contre les chocs conduits ($U_2 \ll U_0$ et $I_2 \ll I_0$) et contre les champs magnétiques rayonnés ($H_2 \ll H_0$)

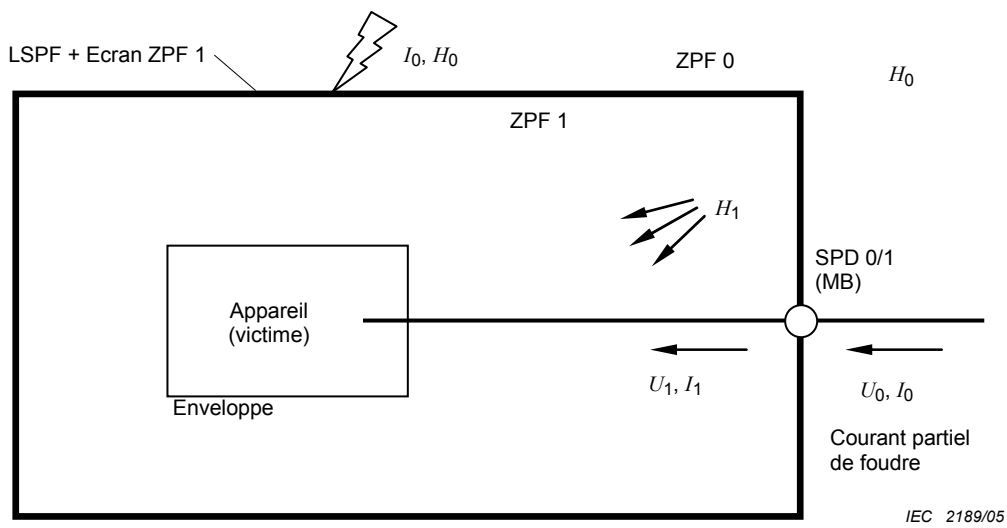


Figure 2b – SMPI utilisant des écrans spatiaux pour la ZPF 1 et un parafoudre à l'entrée de la ZPF 1 – Matériels protégés contre les chocs conduits ($U_1 < U_0$ et $I_1 < I_0$) et contre les champs magnétiques rayonnés ($H_1 < H_0$)

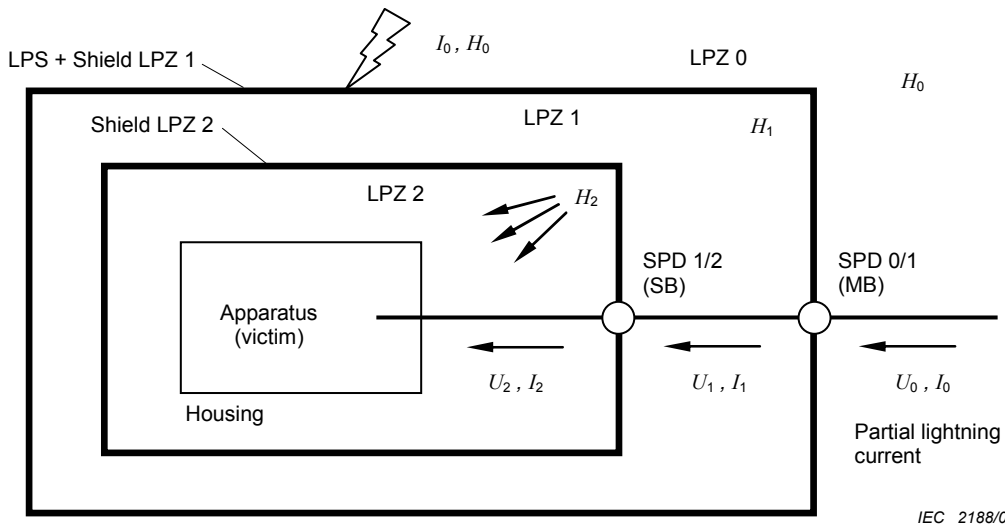


Figure 2a – LPMS using spatial shields and “coordinated SPD protection”– Apparatus well protected against conducted surges ($U_2 \ll U_0$ and $I_2 \ll I_0$) and against radiated magnetic fields ($H_2 \ll H_0$)

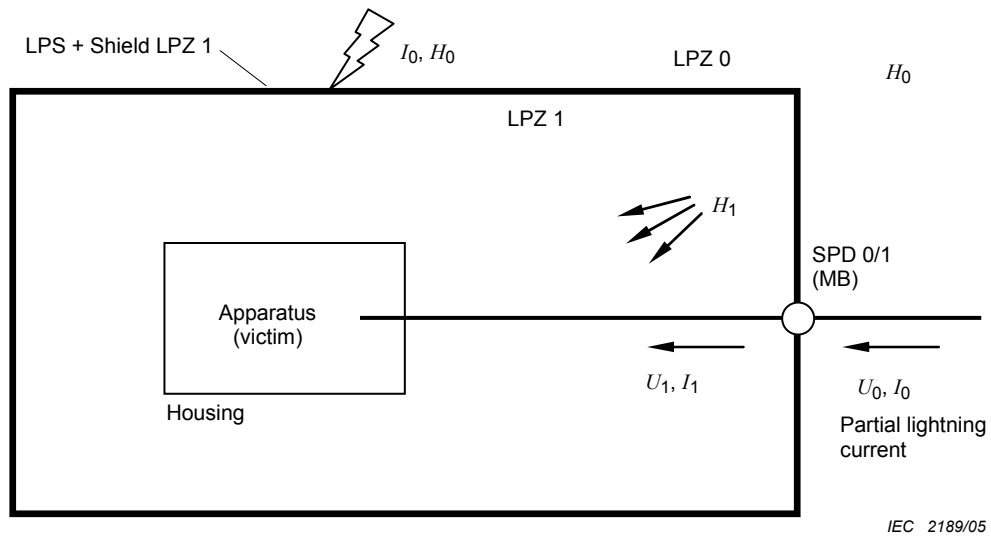


Figure 2b – LPMS using spatial shield of LPZ 1 and SPD protection at entry of LPZ 1 – Apparatus protected against conducted surges ($U_1 < U_0$ and $I_1 < I_0$) and against radiated magnetic fields ($H_1 < H_0$)

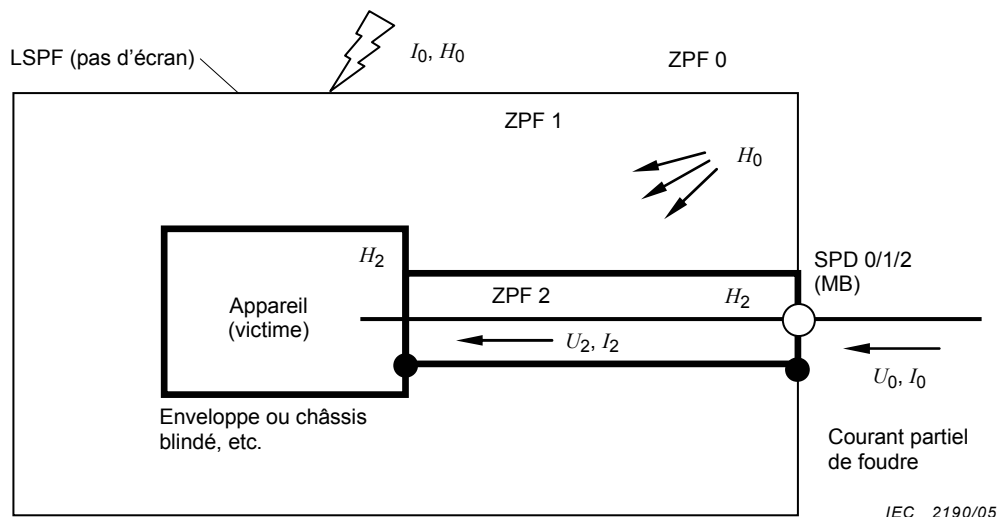


Figure 2c – SMPI utilisant un écran de ligne intérieure et un parafoudre à l’entrée de la ZPF 1 – Matériels protégés contre les chocs conduits ($U_2 < U_0$ et $I_2 < I_0$) et contre les champs magnétiques rayonnés ($H_2 < H_0$)

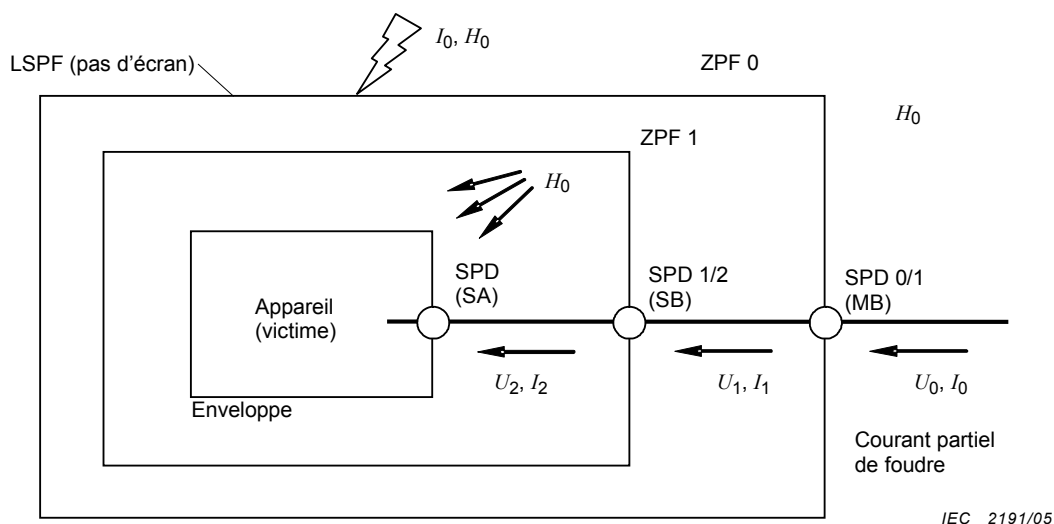


Figure 2d – SMPI utilisant seulement une protection coordonnée par parafoudres – Matériels protégés contre les chocs conduits ($U_2 \ll U_0$ et $I_2 \ll I_0$), mais pas contre les champs magnétiques rayonnés (H_0)

NOTE 1 Les parafoudres peuvent être situés aux points suivants (voir aussi D.1.2):

- à la frontière de la ZPF 1 (par exemple au tableau principal de distribution MB);
- à la frontière de la ZPF 2 (par exemple au tableau secondaire de distribution SB);
- à proximité du matériel (par exemple sur la prise SA).

NOTE 2 Pour des règles détaillées, voir aussi la CEI 60364-5-53.

NOTE Frontières écrantées (———) et non écrantées (—).

Figure 2 – Protection contre l’IEMF – Exemples de mesures de protection possibles contre l’IEMF (SMPI)

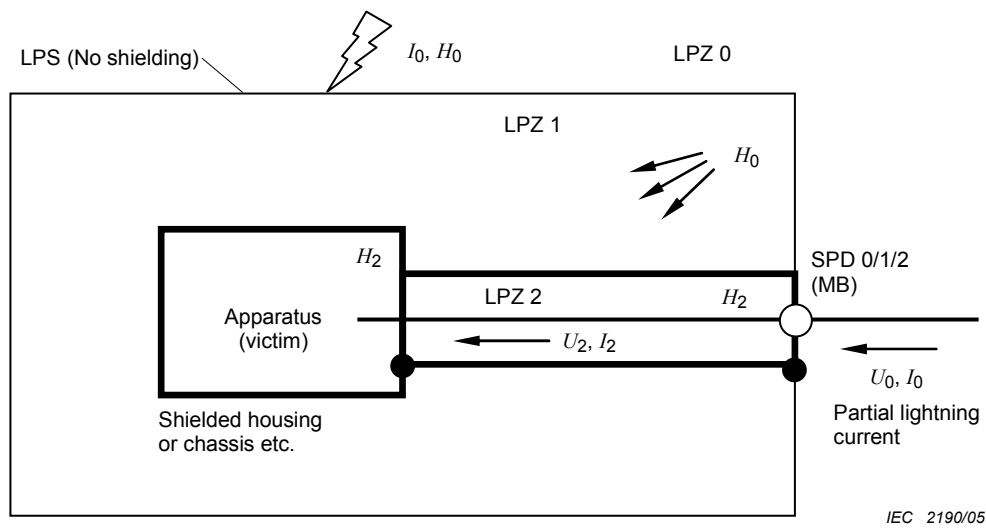


Figure 2c – LPMS using internal line shielding and SPD protection at entry of LPZ 1 – Apparatus protected against conducted surges ($U_2 < U_0$ and $I_2 < I_0$) and against radiated magnetic fields ($H_2 < H_0$)

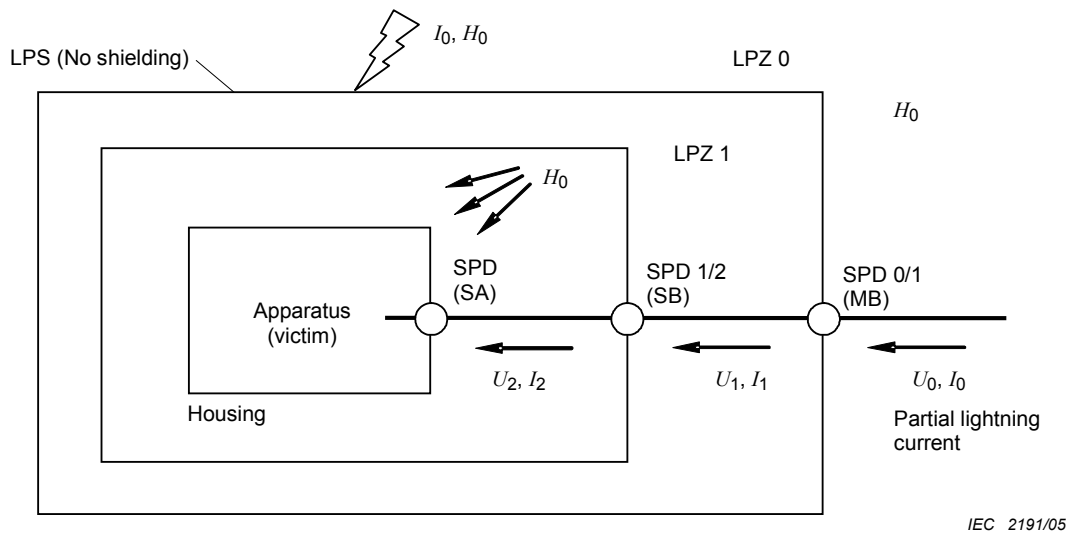


Figure 2d – LPMS using “coordinated SPD protection” only – Apparatus protected against conducted surges ($U_2 \ll U_0$ and $I_2 \ll I_0$), but not against radiated magnetic field (H_0)

NOTE 1 SPDs can be located at the following points (see also D.1.2):
 - at boundary of LPZ 1 (e.g. at main distribution board MB);
 - at boundary of LPZ 2 (e.g. at secondary distribution board SB);
 - at or close to apparatus (e.g. at socket outlet SA).

NOTE 2 For detailed installation rules see also IEC 60364-5-53.

NOTE 3 Shielded (—) and non shielded (——) boundary.

Figure 2 – Protection against LEMP – Examples of possible LEMP protection measures systems (LPMS)

Des défaillances permanentes des réseaux de puissance et de communication dues à l'IEMF peuvent être dues à:

- des chocs conduits et induits sur les matériels par les câblages de connexion;
- des effets des champs magnétiques rayonnés sur les matériels eux-mêmes.

NOTE 1 Les défaillances dues à des champs magnétiques directs sont négligeables si les matériels sont conformes aux essais d'émission et d'immunité définis dans les normes CEM correspondantes.

NOTE 2 Pour les matériels non conformes aux normes CEM correspondantes, l'Annexe A donne des informations pour réaliser la protection contre les effets directs des champs magnétiques. Le niveau de tenue de ces matériels sera choisi conformément à la CEI 61000-4-9 et à la CEI 61000-4-10.

4.1 Conception d'un système de mesures de protection contre l'IEMF (SMPI)

Des SMPI peuvent être conçus pour la protection des matériels contre les chocs et contre les champs magnétiques. La Figure 2 donne des exemples:

- Des SMPI utilisant des écrans spatiaux et une protection par parafoudres coordonnée protégeront contre les champs magnétiques rayonnés et contre les chocs conduits (voir la Figure 2a). Des écrans spatiaux en cascade et des parafoudres coordonnés peuvent réduire le champ magnétique et les chocs à des valeurs inférieures que le niveau de menace.
- Des SMPI utilisant un écran spatial de ZPF 1 et un parafoudre à l'entrée de la ZPF 1 peuvent protéger les matériels contre le champ magnétique rayonné et contre les chocs conduits (voir Figure 2b).

NOTE 1 La protection ne sera pas suffisante si le champ magnétique reste trop élevé (dû à un écran faible de la ZPF 1) ou si le niveau de choc reste trop élevé (niveau de protection du parafoudre trop élevé et effets d'induction en aval du parafoudre).

- Des SMPI utilisant les réseaux écrantés associées à des matériels sous enveloppes écrantées protégeront contre les champs magnétiques rayonnés. Le parafoudre à l'entrée de la ZPF 1 assurera la protection contre les chocs conduits (voir Figure 2c). Pour assurer une meilleure protection, un parafoudre particulier peut être requis (par exemple étages intérieurs de coordination) pour obtenir un niveau de protection suffisamment bas.
- Des SMPI n'utilisant qu'une protection par parafoudres coordonnée ne sont efficaces que pour des matériels insensibles aux champs magnétiques rayonnés car les parafoudres n'assurent que la protection contre les chocs (voir Figure 2d). Une protection plus basse peut être réalisée par des parafoudres coordonnés.

NOTE 2 Des solutions conformes aux Figures 2a, 2b et 2c sont recommandées particulièrement pour les matériels non conformes aux normes CEM.

NOTE 3 Un SPF conforme à la CEI 62305-3 associé à des parafoudres d'équipotentialité ne protège pas contre les défaillances des réseaux de puissance et de communication sensibles. Le SPF peut être amélioré en réduisant la taille des mailles et en choisissant des parafoudres appropriés constituant des composantes efficaces des MPI.

4.2 Zones de protection contre la foudre (ZPF)

Selon la menace due à la foudre, les ZPF suivantes sont définies (voir CEI 62305-1):

Zones extérieures

- ZPF 0 Zone mise en danger par les champs électrique et magnétique non atténués et par des chocs sous le courant plein ou partiel de la foudre. Une ZPF 0 se subdivise en:
- ZPF 0_A zone mise en danger par des coups de foudre directs par des chocs sous le courant plein ou partiel de foudre et par le champ magnétique total de foudre;
- ZPF 0_B zone protégée contre les coups de foudre directs. Zone mise en danger par des coups de foudre directs par des chocs sous le courant partiel de foudre et par le champ magnétique total de foudre.

Permanent failure of electrical and electronic systems due to LEMP can be caused by:

- conducted and induced surges transmitted to apparatus via connecting wiring;
- effects of radiated electromagnetic fields impinging directly onto apparatus itself.

NOTE 1 Failures due to electromagnetic fields impinging directly onto the equipment are negligible provided that the equipment complies with radio frequency emission tests and immunity tests as defined in the relevant EMC product standards.

NOTE 2 For equipment not complying with relevant EMC product standards, Annex A provides information on how to achieve protection against electromagnetic fields directly impinging onto this equipment. The equipment's withstand level against radiated magnetic fields needs to be selected in accordance with IEC 61000-4-9 and IEC 61000-4-10.

4.1 Design of an LPMS

An LPMS can be designed for protection of equipment against surges and electromagnetic fields. Figure 2 provides examples:

- An LPMS employing spatial shields and coordinated SPD protection will protect against radiated magnetic fields and against conducted surges (see Figure 2a). Cascaded spatial shields and coordinated SPDs can reduce magnetic field and surges to a lower threat level.
- An LPMS employing a spatial shield of LPZ 1 and an SPD at the entry of LPZ 1 can protect apparatus against the radiated magnetic field and against conducted surges (see Figure 2b).

NOTE 1 The protection would not be sufficient, if the magnetic field remains too high (due to low shielding effectiveness of LPZ 1) or if the surge magnitude remains too high (due to a high voltage protection level of the SPD and due to the induction effects onto wiring downstream of the SPD).

- An LPMS created using shielded lines, combined with shielded equipment enclosures, will protect against radiated magnetic fields. The SPD at the entry of LPZ 1 will provide protection against conducted surges (see Figure 2c). To achieve a lower threat surge level, a special SPD may be required (e.g. additional coordinated stages inside) to reach a sufficient low voltage protection level.
- An LPMS created using a system of coordinated SPD protection, is only suitable to protect equipment which is insensitive to radiated magnetic fields, since the SPDs will only provide protection against conducted surges (see Figure 2d). A lower threat surge level can be achieved using coordinated SPDs.

NOTE 2 Solutions according to Figures 2a to 2c are recommended especially for equipment, which does not comply with relevant EMC product standards.

NOTE 3 An LPS according to IEC 62305-3, which only employs equipotential bonding SPDs, provides no effective protection against failure of sensitive electrical and electronic systems. The LPS can be improved by reducing the mesh dimensions and selecting suitable SPDs, so as to make it an effective component of the LPMS.

4.2 Lightning protection zones (LPZ)

With respect to lightning threat, the following LPZ are defined (see IEC 62305-1):

Outer zones

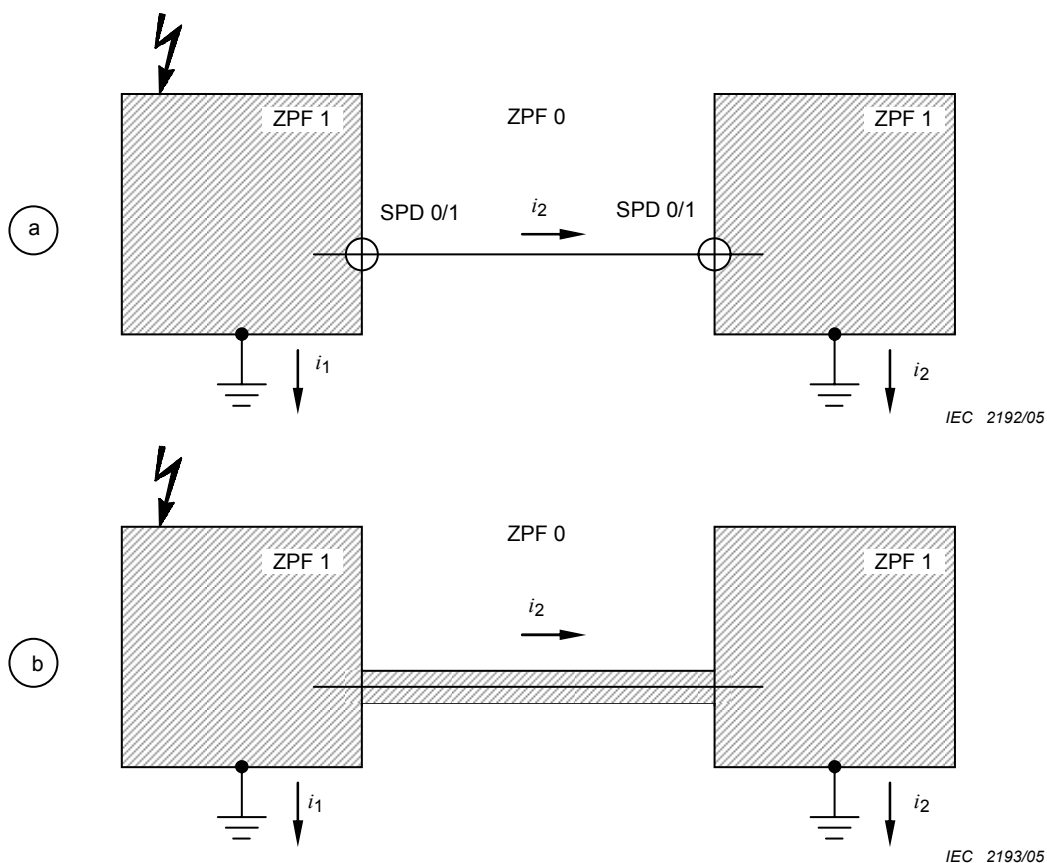
- LPZ 0 Zone where the threat is due to the unattenuated lightning electromagnetic field and where the internal systems may be subjected to full or partial lightning surge current. LPZ 0 is subdivided into:
- LPZ 0_A zone where the threat is due to the direct lightning flash and the full lightning electromagnetic field. The internal systems may be subjected to full lightning surge current;
- LPZ 0_B zone protected against direct lightning flashes but where the threat is the full lightning electromagnetic field. The internal systems may be subjected to partial lightning surge currents.

Zones intérieures (protégées contre les coups de foudre directs)

- ZPF 1 Zone où les chocs sont limités par le partage du courant et par des parafoudres aux frontières. Le champ électromagnétique de foudre peut être atténué par un écran spatial.
- ZPF2...n Zone où les chocs peuvent être très limités par le partage du courant et par des parafoudres aux frontières. Le champ électromagnétique de foudre est généralement atténué par un écran spatial additionnel.

Les ZPF sont améliorées par les SMPI, par exemple en installant des parafoudres et/ou des écrans magnétiques (voir Figure 2). En fonction du nombre, du type et de la tenue des matériels à protéger, une ZPF appropriée peut être définie, depuis des emplacements locaux réduits (jusqu'à l'enveloppe d'un simple matériel) jusqu'à de vastes zones (pouvant être étendues à l'ensemble de la structure). Voir Figure B.2.

L'interconnexion de ZPF de même niveau peut être nécessaire si deux structures séparées sont connectées par des réseaux de communication ou peut encore être utilisée pour réduire le nombre de parafoudres (voir Figure 3).



i_1, i_2 courants de foudre partiels

NOTE La Figure 3a montre deux ZPF 1 connectées par des réseaux de puissance et de communication. Il convient de prendre un soin particulier si les deux ZPF 1 représentent des structures séparées avec des prises de terre différentes, distantes de plusieurs dizaines ou centaines de mètres. Dans ce cas, une grande partie du courant de foudre peut s'écouler dans les réseaux interconnectés qui ne sont pas protégés.

NOTE La Figure 3b montre que ce cas peut être résolu en utilisant des câbles ou des conduits écartés pour interconnecter les deux ZPF 1 si les écrans peuvent conduire les courants de foudre partiels. Le parafoudre peut être omis si la chute de tension le long de l'écran n'est pas trop élevée.

Figure 3a – Interconnexion de deux ZPF 1 utilisant des parafoudres

Figure 3b – Interconnexion de deux ZPF 1 utilisant des câbles écartés ou des conduits avec écran

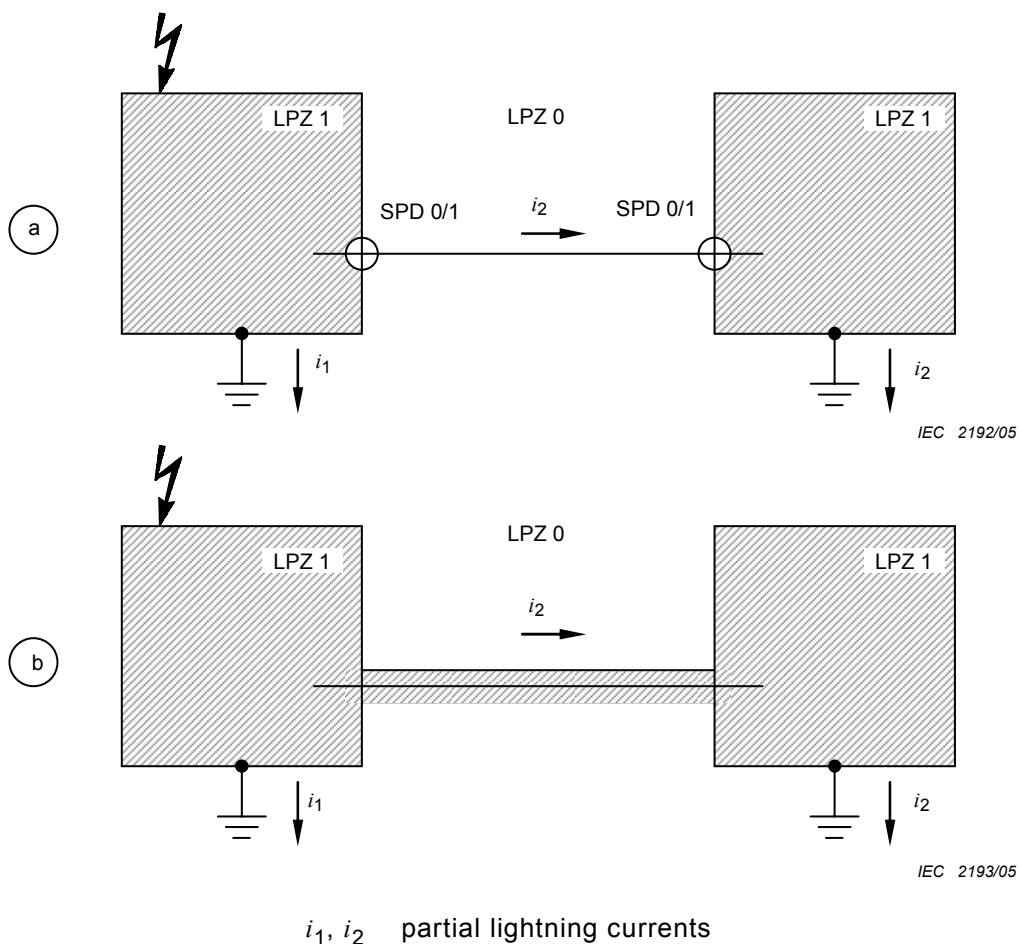
Inner zones: (protected against direct lightning flashes)

LPZ 1 Zone where the surge current is limited by current sharing and by SPDs at the boundary. Spatial shielding may attenuate the lightning electromagnetic field.

LPZ 2 ... n Zone where the surge current may be further limited by current sharing and by additional SPDs at the boundary. Additional spatial shielding may be used to further attenuate the lightning electromagnetic field.

The LPZs are implemented by the installation of the LPMS, e.g. installation of coordinated SPDs and/or magnetic shielding (see Figure 2). Depending on number, type and withstand level of the equipment to be protected, suitable LPZ can be defined. These may include small local zones (e.g. equipment enclosures) or large integral zones (e.g. the volume of the whole structure) (see Figure B.2).

Interconnection of LPZ of the same order may be necessary if either two separate structures are connected by electrical or signal lines, or the number of required SPDs is to be reduced (see Figure 3).

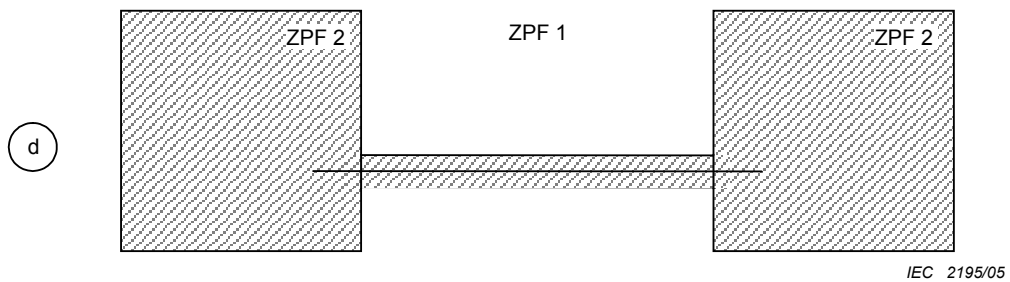
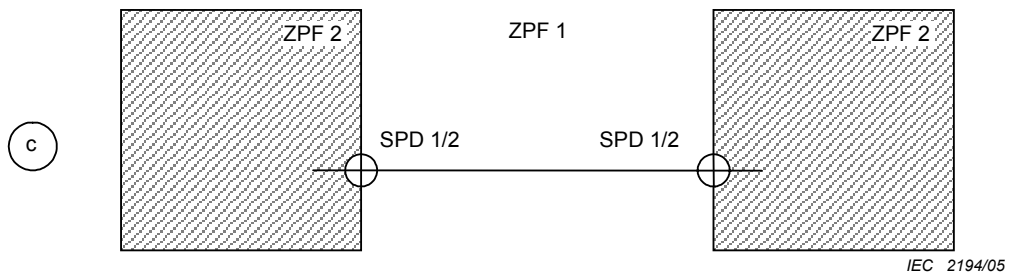


NOTE Figure 3a shows two LPZ 1 connected by electrical or signal lines. Special care should be taken if both LPZ 1 represent separate structures with separate earthing systems, spaced tens or hundreds of metres from each other. In this case, a large part of the lightning current can flow along the connecting lines, which are not protected.

Figure 3a – Interconnecting two LPZ 1 using SPD

NOTE Figure 3b shows, that this problem can be solved using shielded cables or shielded cable ducts to interconnect both LPZ 1, provided that the shields are able to carry the partial lightning current. The SPD can be omitted, if the voltage drop along the shield is not too high.

Figure 3b – Interconnecting two LPZ 1 using shielded cables or shielded cable ducts



NOTE La Figure 3c montre deux ZPF 2 interconnectées par des réseaux de puissance et de communication. En raison de la menace sur ZPF 1, un parafoudre à l'entrée de chaque ZPF 2 est requis.

NOTE La Figure 3d montre que de telles perturbations peuvent être évitées et que le parafoudre peut être omis si les câbles ou conduits écrantés interconnectent les deux ZPF 2.

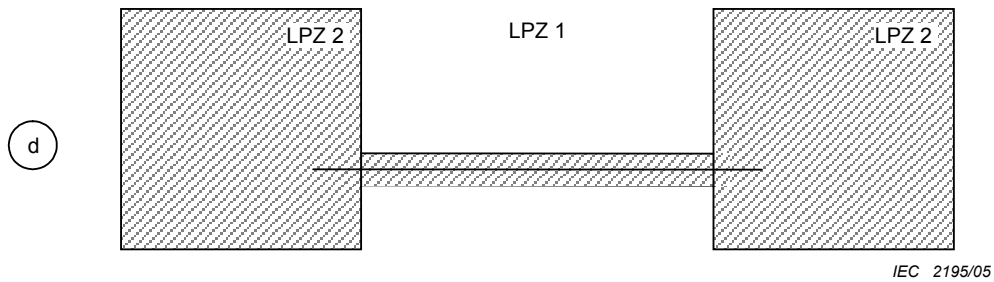
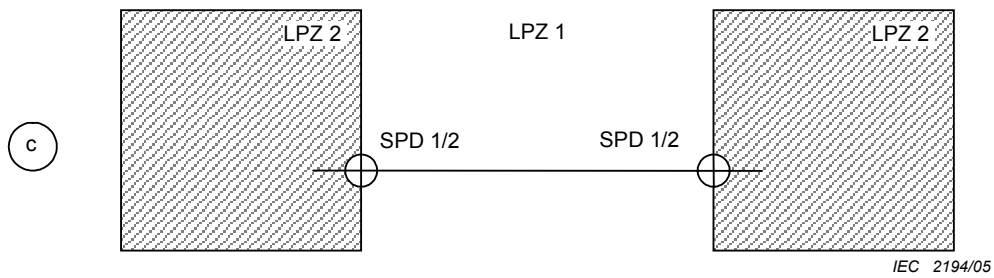
Figures 3c – Interconnexion de deux ZPF 2 utilisant des parafoudres

Figure 3d – Interconnexion de deux ZPF 2 utilisant des câbles écrantés ou des conduits avec écran

Figure 3 – Exemples de ZPF interconnectées

L'extension d'une ZPF en nouvelle ZPF peut être nécessaire dans des cas particuliers ou peut encore être utilisée pour réduire le nombre de parafoudres (voir Figure 4).

Des informations complémentaires sur l'estimation de l'environnement électromagnétique d'une ZPF sont données à l'Annexe A.



NOTE Figure 3c shows two LPZ 2 connected by electrical or signal lines. Because the lines are exposed to the threat level of LPZ 1, SPD at the entry into each LPZ 2 are required.

NOTE Figure 3d shows that such interference can be avoided and the SPD can be omitted, if shielded cables or shielded cable ducts are used to interconnect both LPZ 2.

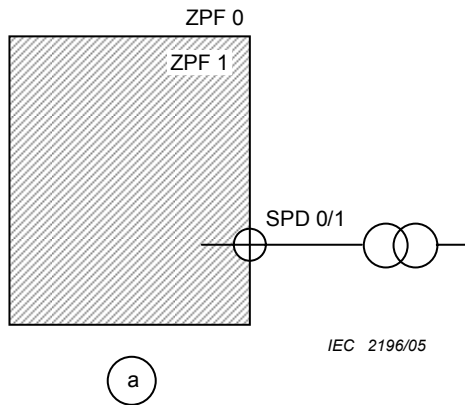
Figure 3c – Interconnecting two LPZ 2 using SPD

Figure 3d – Interconnecting two LPZ 2 using shielded cables or shielded cable ducts

Figure 3 – Examples for interconnected LPZ

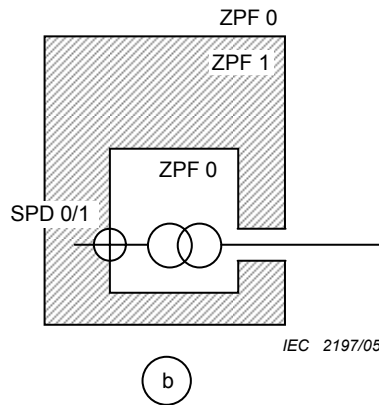
Extending an LPZ into another LPZ might be needed in special cases or can be used to reduce the number of required SPD (see Figure 4).

Detailed evaluation of the electromagnetic environment in an LPZ is described in Annex A.



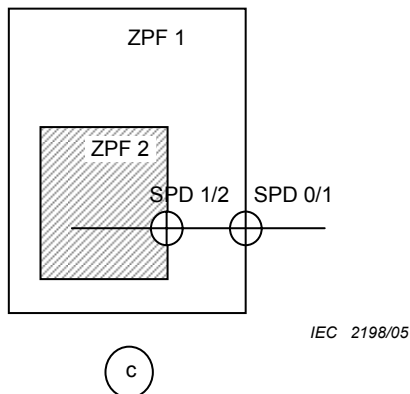
NOTE La Figure 4a montre une structure alimentée par un transformateur. Si le transformateur est à l'extérieur de la structure, seules les lignes basse tension pénétrant dans la structure nécessitent une protection par parafoudres. Si le transformateur est dans la structure, le propriétaire de la structure n'est généralement pas autorisé à prendre des dispositions de protection côté haute tension.

Figure 4a – Transformateur à l'extérieur de la structure



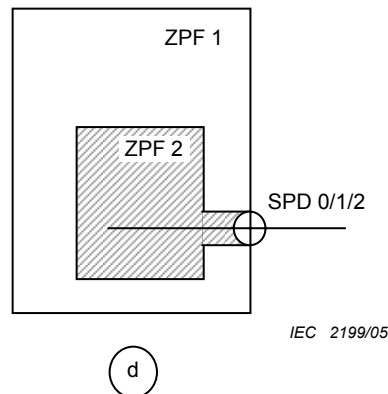
NOTE La figure 4b montre que le problème peut être résolu en étendant la ZPF 0 dans la ZPF 1, ce qui ne nécessite des parafoudres que côté basse tension.

Figure 4b – Transformateur à l'intérieur de la structure (ZPF 0 étendue à ZPF 1)



NOTE La figure 4c montre une ZPF2 alimentée par un réseau de puissance ou de communication. Ces réseaux nécessitent deux parafoudres coordonnés, un à la frontière de la ZPF1 et l'autre à la frontière de la ZPF2.

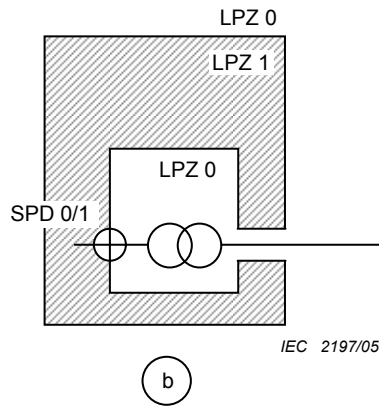
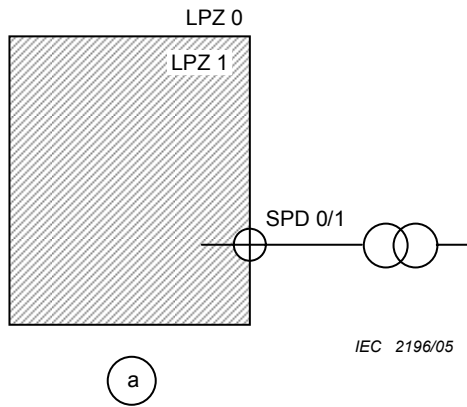
Figure 4c – Deux parafoudres coordonnés (0/1) et un parafoudre (1/2) sont nécessaires



NOTE La figure 4d montre que les réseaux peuvent entrer directement dans la ZPF2 et seul un parafoudre est requis si la ZPF2 est étendue à la ZPF1 par des câbles ou conduits écrantés. Toutefois, ce parafoudre réduira la menace au niveau de la ZPF2.

Figure 4d – Un seul parafoudre est nécessaire (0/1/2) (ZPF2 étendue à ZPF 1)

Figure 4 – Exemples de ZPF étendues

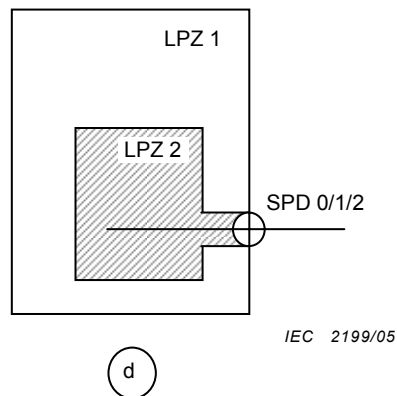
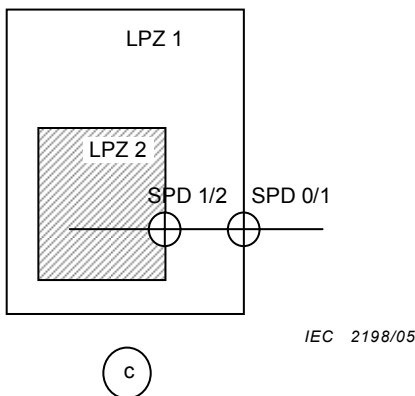


NOTE Figure 4a shows a structure powered by a transformer. If the transformer is placed outside the structure, only the low voltage lines entering the structure need protection by SPD. If the transformer should be placed inside the structure, the owner of the building often is not allowed to adopt protection measures on the high voltage side.

NOTE Figure 4b shows that the problem can be solved extending LPZ 0 into LPZ 1, which requires again SPDs at the low voltage side only.

Figure 4a – Transformer outside the structure

Figure 4b – Transformer inside the structure (LPZ 0 extended into LPZ 1)



NOTE Figure 4c shows an LPZ 2 supplied by an electrical or signal line. This line needs two coordinated SPDs: one at the boundary of LPZ 1, the other at the boundary of LPZ 2.

NOTE Figure 4d shows that the line can enter immediately into LPZ 2 and only one SPD is required, if LPZ 2 is extended into LPZ 1 using shielded cables or shielded cable ducts. However this SPD will reduce the threat immediately to the level of LPZ 2.

Figure 4c – Two coordinated SPD (0/1) and SPD (1/2) needed

Figure 4d – Only one SPD (0/1/2) needed (LPZ 2 extended into LPZ 1)

Figure 4 – Examples for extended lightning protection zones

4.3 Mesures de protection fondamentales des SMPI

Les mesures de protection fondamentales contre l'IEMF sont les suivantes:

- **La mise à la terre et les équipotentialités (voir Article 5)**

La mise à la terre écoule et disperse le courant de foudre à la terre.

L'équipotentialité minimise les différences de potentiel et peut réduire le champ magnétique.

- **Les écrans magnétiques et le cheminement des lignes (voir Article 6)**

L'écran spatial atténue les champs magnétiques dans la ZPF dus à des impacts directs de foudre sur ou près de la structure et réduit les chocs internes.

L'écran des réseaux internes utilisant des câbles écrantés ou des conduits minimise les chocs induits dans l'installation.

Le cheminement des réseaux internes peut minimiser les boucles d'induction et réduire les chocs internes.

NOTE 1 Les écrans spatiaux, des lignes internes et le cheminement peuvent être associés ou utilisés séparément.

L'écran des réseaux externes pénétrant dans la structure réduit les chocs extérieurs transmis aux réseaux internes connectés.

- **Les parafoudres coordonnés (voir Article 7)**

Les parafoudres coordonnés réduisent les effets des chocs extérieurs et internes.

Il est recommandé que la mise à la terre et les équipotentialités soient toujours assurées, particulièrement pour les services entrants conducteurs directement ou indirectement par parafoudres au point de pénétration.

NOTE 2 Une équipotentialité de foudre conforme à la CEI 62305-3 ne protégera que contre l'étincelage. La protection des réseaux internes contre les chocs nécessite une protection coordonnée par parafoudres conforme à la présente norme.

D'autres mesures de protection contre l'IEMF peuvent être utilisées seules ou en combinaison.

Les mesures de protection contre l'IEMF doivent résister aux contraintes, par exemple de température, d'humidité, d'atmosphère corrosive, de vibrations, de tension et de courant susceptibles d'affecter l'emplacement de l'installation.

Le choix des SMPI appropriées doit être fait en utilisant une méthode d'analyse du risque conformément à la CEI 62305-2 en tenant compte des facteurs techniques et économiques.

Des informations pratiques sur l'amélioration de la protection contre l'IEMF dans les structures existantes sont données à l'Annexe B.

NOTE 3 D'autres informations sur la mise en œuvre de mesures de protection contre l'IEMF peuvent être trouvées dans la CEI 60364-4-44.

5 Mise à la terre et équipotentialité

Une mise à la terre et des équipotentialités appropriées se fondent sur un réseau de terre complet (voir Figure 5) associant:

- les prises de terre (écoulant le courant de foudre à la terre); et
- le réseau d'équipotentialité (minimisant les différences de potentiel et réduisant le champ magnétique).

4.3 Basic protection measures in an LPMS

Basic protection measures against LEMP include:

- **Earthing and bonding (see Clause 5)**

The earthing system conducts and disperses the lightning current into the earth.

The bonding network minimizes potential differences and may reduce magnetic field.

- **Magnetic shielding and line routing (see Clause 6)**

Spatial shielding attenuates the magnetic field inside the LPZ, arising from lightning flashes direct to or nearby the structure, and reduces internal surges.

Shielding of internal lines, using shielded cables or cable ducts, minimizes internal induced surges.

Routing of internal lines can minimize induction loops and reduce internal surges.

NOTE 1 Spatial shielding, shielding and routing of internal lines can be combined or used separately.

Shielding of external lines entering the structure reduces surges from being conducted onto the internal systems.

- **Coordinated SPD protection (see Clause 7)**

Coordinated SPD protection limits the effects of external and internal surges.

Earthing and bonding should always be ensured, in particular, bonding of every conductive service directly or via an equipotential bonding SPD, at the point of entry to the structure.

NOTE 2 Lightning equipotential bonding (EB) according to IEC 62305-3 will protect against dangerous sparking only. Protection of internal systems against surges requires coordinated SPD protection according to this standard.

Other LEMP protection measures can be used alone or in combination.

LEMP protection measures shall withstand the operational stresses expected in the installation place (e.g. stress of temperature, humidity, corrosive atmosphere, vibration, voltage and current).

Selection of the most suitable LEMP protection measures shall be made using a risk assessment in accordance with IEC 62305-2 taking into account technical and economic factors.

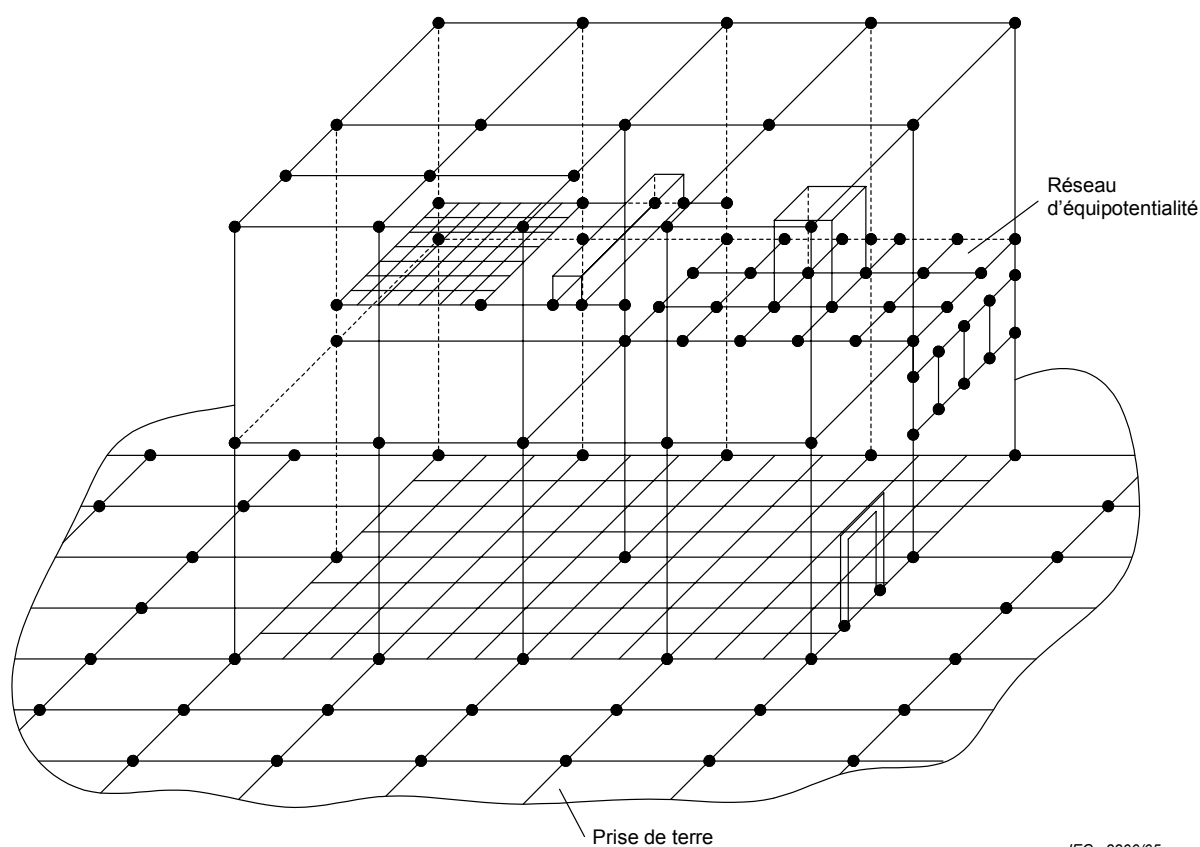
Practical information on the implementation of LEMP protection measures for electronic systems in existing structures are given in Annex B.

NOTE 3 Further information on the implementation of LEMP protection measures can be found in IEC 60364-4-44.

5 Earthing and bonding

Suitable earthing and bonding is based on a complete earthing system (see Figure 5) combining:

- the earth-termination system (dispersing the lightning current into the soil); and
- the bonding network (minimizing potential differences and reducing the magnetic field).



IEC 2200/05

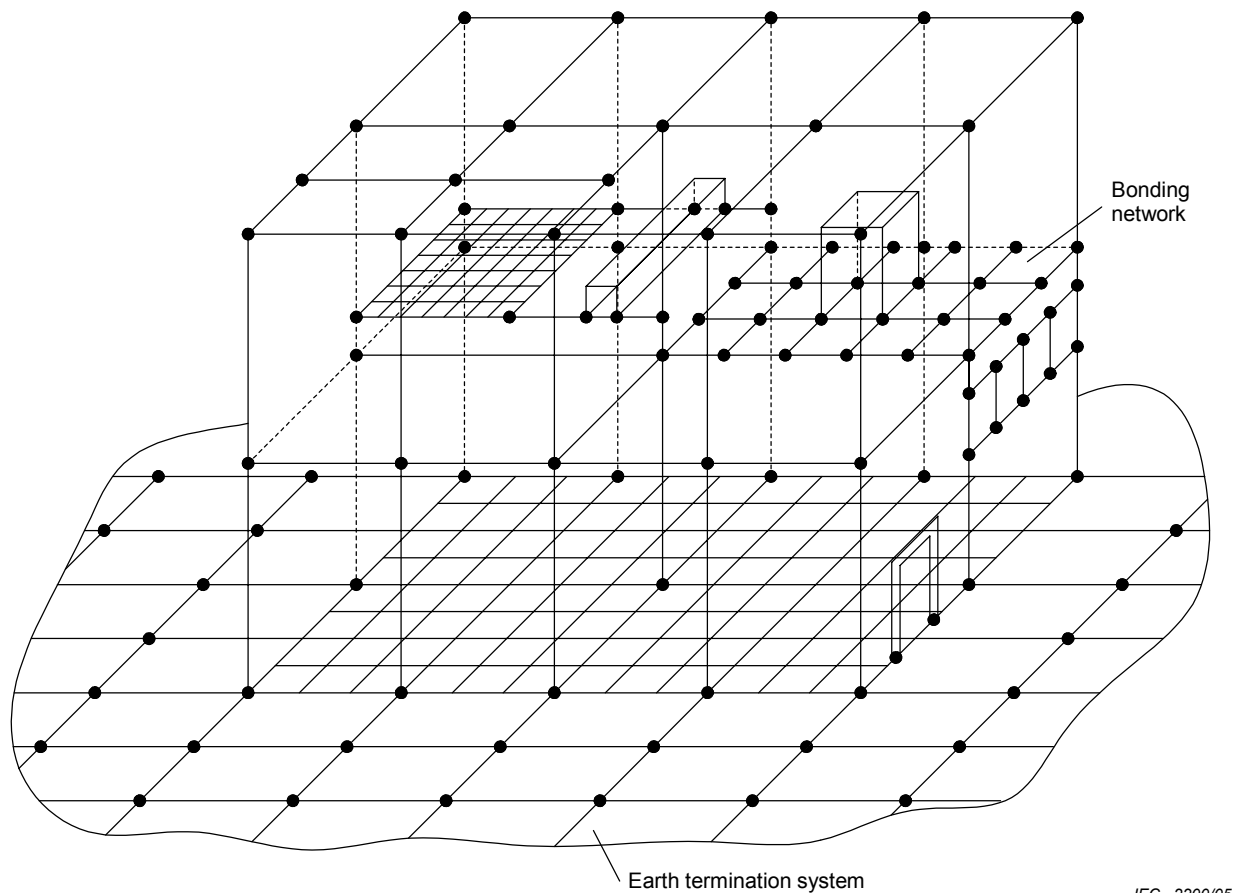
NOTE Toutes les connexions sont des liaisons aux éléments de la structure métallique ou des interconnexions. Des connexions peuvent aussi servir à intercepter, écouler et disperser le courant de foudre à la terre.

Figure 5 – Exemple de réseau de mise à la terre tridimensionnel associant la prise de terre et les équipotentialités interconnectées

5.1 Système de prises de terre

Le systèmes des prises de terre de la structure doivent être conformes à la CEI 62305-3. Dans des structures où seuls des réseaux de puissance existent, une disposition de Type A peut être utilisée, mais une disposition de Type B est préférable. Dans des structures intégrant des réseaux électroniques, une disposition de Type B est prescrite.

Il est recommandé que la boucle à fond de fouille autour de la structure et/ou celle dans le béton à la périphérie de la base soit connectée au réseau maillé dessous et autour de la structure, placés tous les 5 m environ. Cela améliore les performances du système de la prise de terre. Les armatures du béton dans le sol formant un maillage interconnecté bien défini, connecté à la terre, généralement tous les 5 m assure les mêmes performances. Un exemple de prise de terre maillée est donné à la Figure 6.



IEC 2200/05

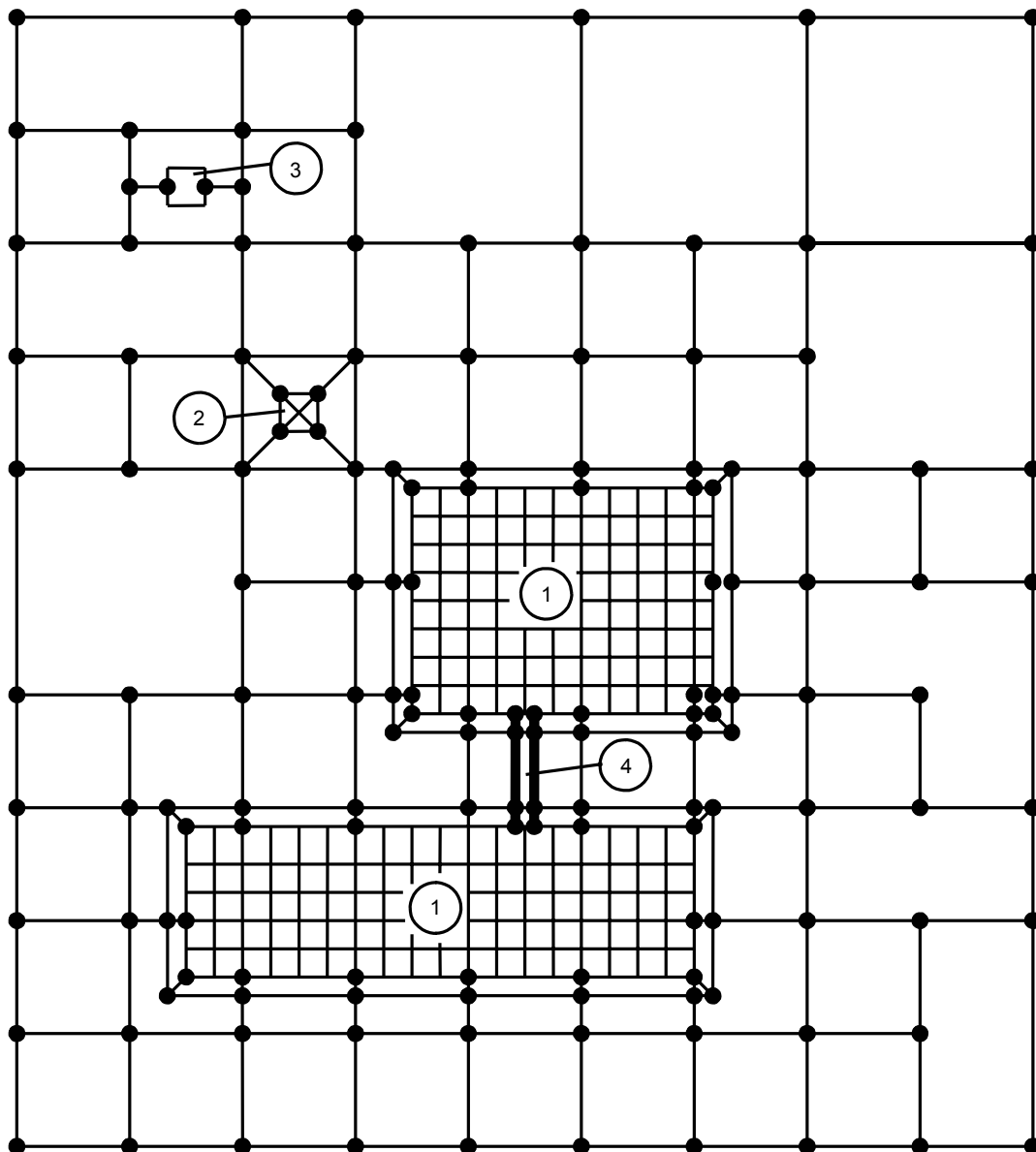
NOTE All drawn connections are either bonded structure metal elements or bonding connections. Some of them may also serve to intercept, conduct and disperse the lightning current into the earth.

Figure 5 – Example of a three-dimensional earthing system consisting of the bonding network interconnected with the earth termination system

5.1 Earth termination system

The earth termination system of the structure shall comply with IEC 62305-3. In structures where only electrical systems are provided, a Type A earthing arrangement may be used, but a Type B earthing arrangement is preferable. In structures with electronic systems a Type B earthing arrangement is recommended.

The ring earth electrode around the structure, or the ring earth electrode in the concrete at the perimeter of the foundation, should be integrated with a meshed network under and around the structure, having a mesh width of typically 5 m. This greatly improves the performance of the earth termination system. If the basement's reinforced concrete floor forms a well defined interconnected mesh and is connected to the earth termination system, typically every 5 m, it is also suitable. An example of a meshed earth termination system of a plant is shown in Figure 6.



IEC 2201/05

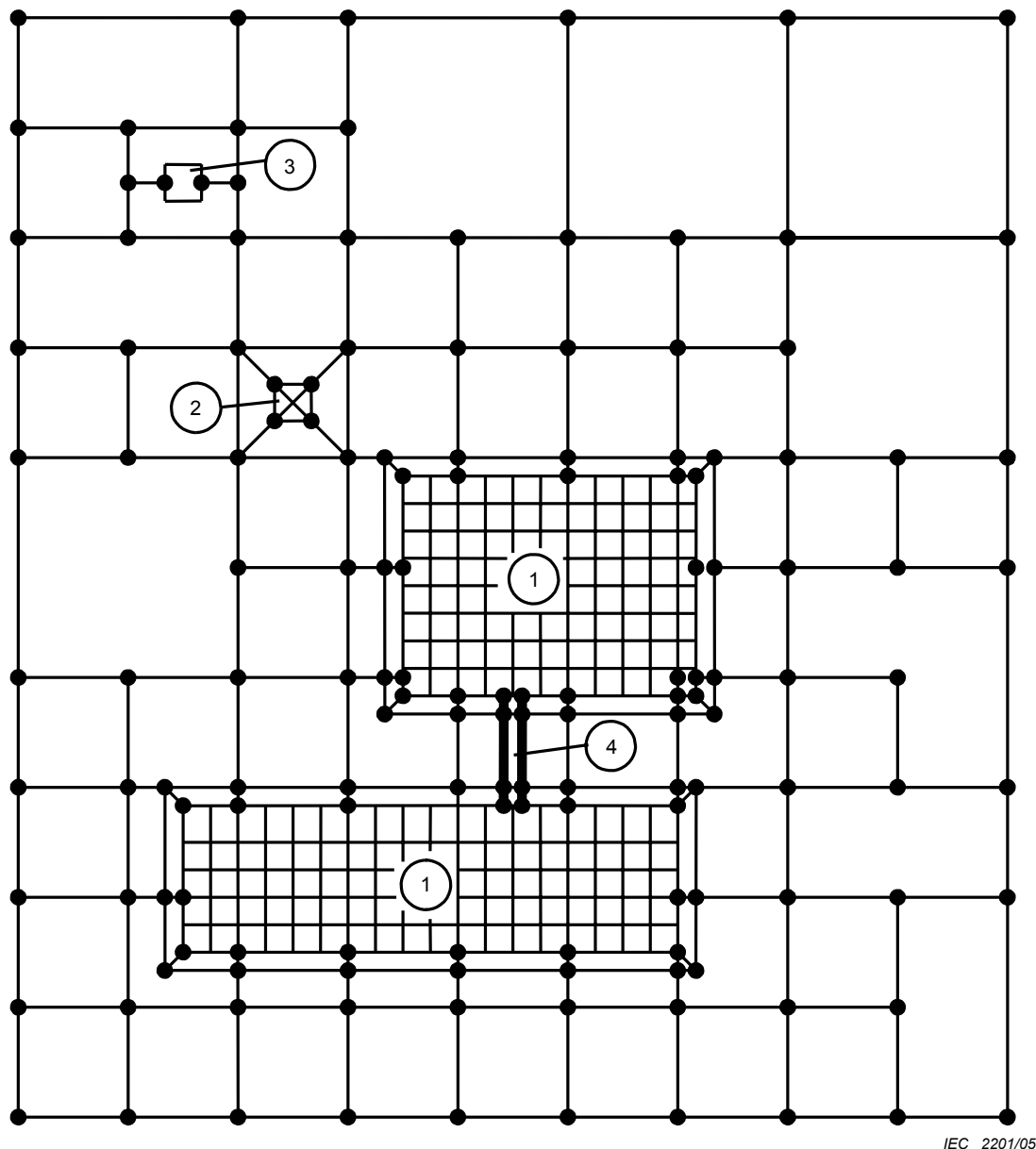
Légende

- 1 bâtiment avec réseau maillé des armatures
- 2 tour dans l'implantation
- 3 équipement isolé
- 4 chemin de câbles

Figure 6 – Prise de terre maillée d'une implantation

Pour réduire les différences de potentiel entre deux réseaux internes connectés à des prises de terre différentes, les méthodes suivantes peuvent être appliquées:

- plusieurs conducteurs parallèles dans le même cheminement que les câbles ou câbles enfermés dans des conduits armés (ou présentant une continuité métallique) intégrés dans les deux prises de terre;
- utilisation de câbles écrantés dont l'écran présente une section adéquate, reliés aux deux extrémités à la terre.



IEC 2201/05

Key

- 1 building with meshed network of the reinforcement
- 2 tower inside the plant
- 3 stand-alone equipment
- 4 cable tray

Figure 6 – Meshed earth termination system of a plant

To reduce potential differences between two internal systems, which have been referenced to separate earthing systems, the following methods may be applied:

- several parallel bonding conductors running in the same paths as the electrical cables, or the cables enclosed in grid-like reinforced concrete ducts (or continuously bonded metal conduit), which have been integrated into both of the earth-termination systems;
- shielded cables with shields of adequate cross-section, and bonded to the separate earthing systems at either end.

5.2 Réseau d'équipotentialité

Un réseau d'équipotentialité de faible impédance est nécessaire pour éviter des différences de potentiel dangereuses entre les matériels dans la ZPF intérieure. De plus, un tel réseau réduit aussi le champ magnétique (voir l'Annexe A).

Cela est réalisé par un réseau maillé incorporant toutes les parties conductrices de la structure ou celles du réseau interne et en mettant à la terre toutes les parties métalliques ou les services conducteurs à la frontière de chacune des ZPF directement ou indirectement par parafoudre approprié.

Un réseau maillé d'équipotentialité tridimensionnel peut être réalisé (voir Figure 5) avec une taille de maille typique de 5 m. Cela nécessite de multiples interconnexions des éléments métalliques dans et sur la structure (tels qu'armatures du béton, rails d'ascenseurs, grues, toitures métalliques, façades métalliques, cadres métalliques de portes et de fenêtres, de planchers, canalisations et chemins de câbles). De la même façon, les bornes d'équipotentialité (par exemple ceinturages, bornes d'étages) et les écrans doivent être compris.

Des exemples de réseaux d'équipotentialité sont donnés dans les Figures 7 et 8.

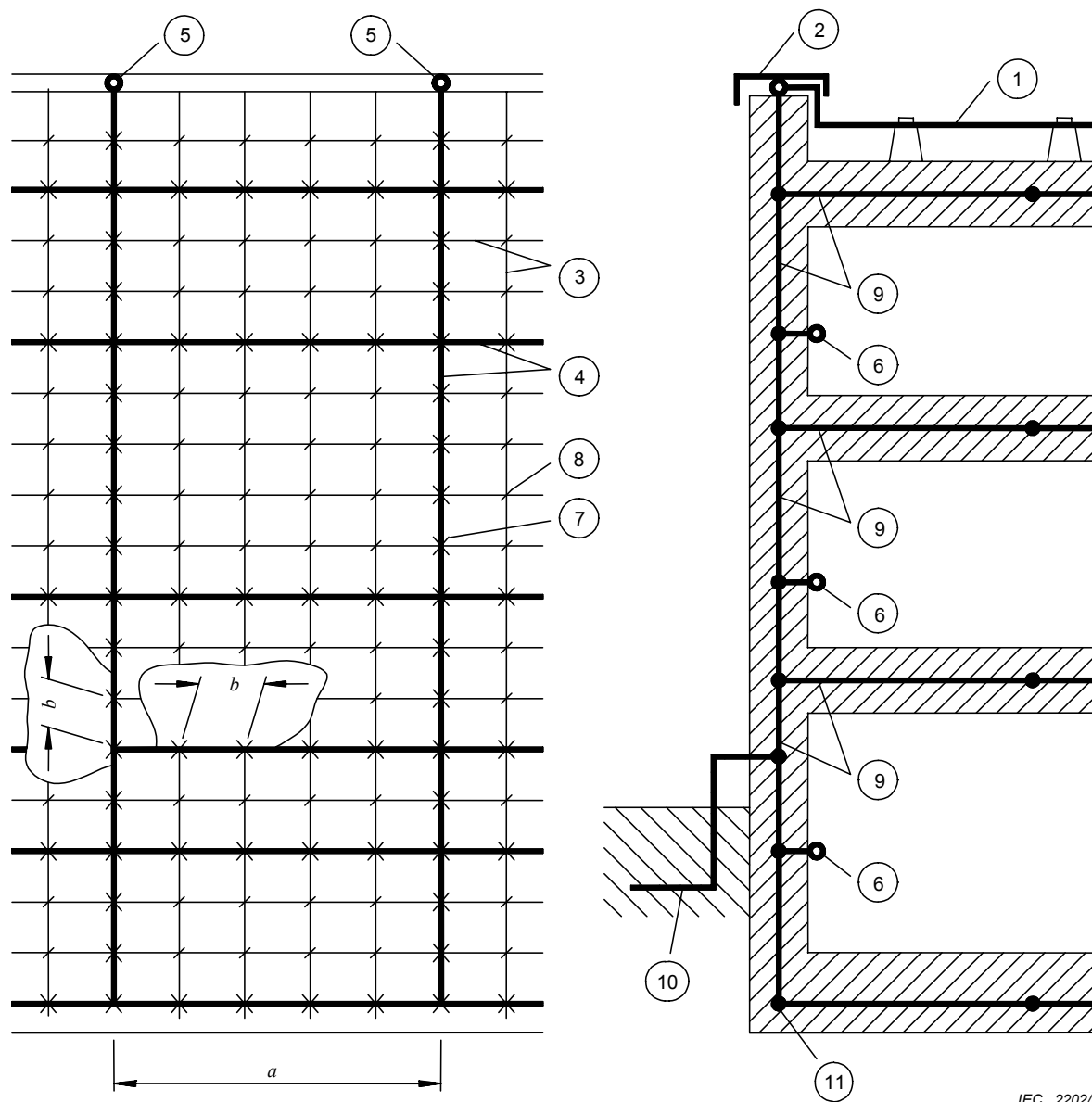
5.2 Bonding network

A low impedance bonding network is needed to avoid dangerous potential differences between all equipment inside the inner LPZ. Moreover, such a bonding network also reduces the magnetic field (see Annex A).

This can be realised by a meshed bonding network integrating conductive parts of the structure, or parts of the internal systems, and by bonding metal parts or conductive services at the boundary of each LPZ directly or by using suitable SPDs.

The bonding network can be arranged as a three-dimensional meshed structure with a typical mesh width of 5 m (see Figure 5). This requires multiple interconnections of metal components in and on the structure (such as concrete reinforcement, elevator rails, cranes, metal roofs, metal facades, metal frames of windows and doors, metal floor frames, service pipes and cable trays). Bonding bars (e.g. ring bonding bars, several bonding bars at different levels of the structure) and magnetic shields of the LPZ shall be integrated in the same way.

Examples of bonding networks are shown in Figures 7 and 8.



IEC 2202/05

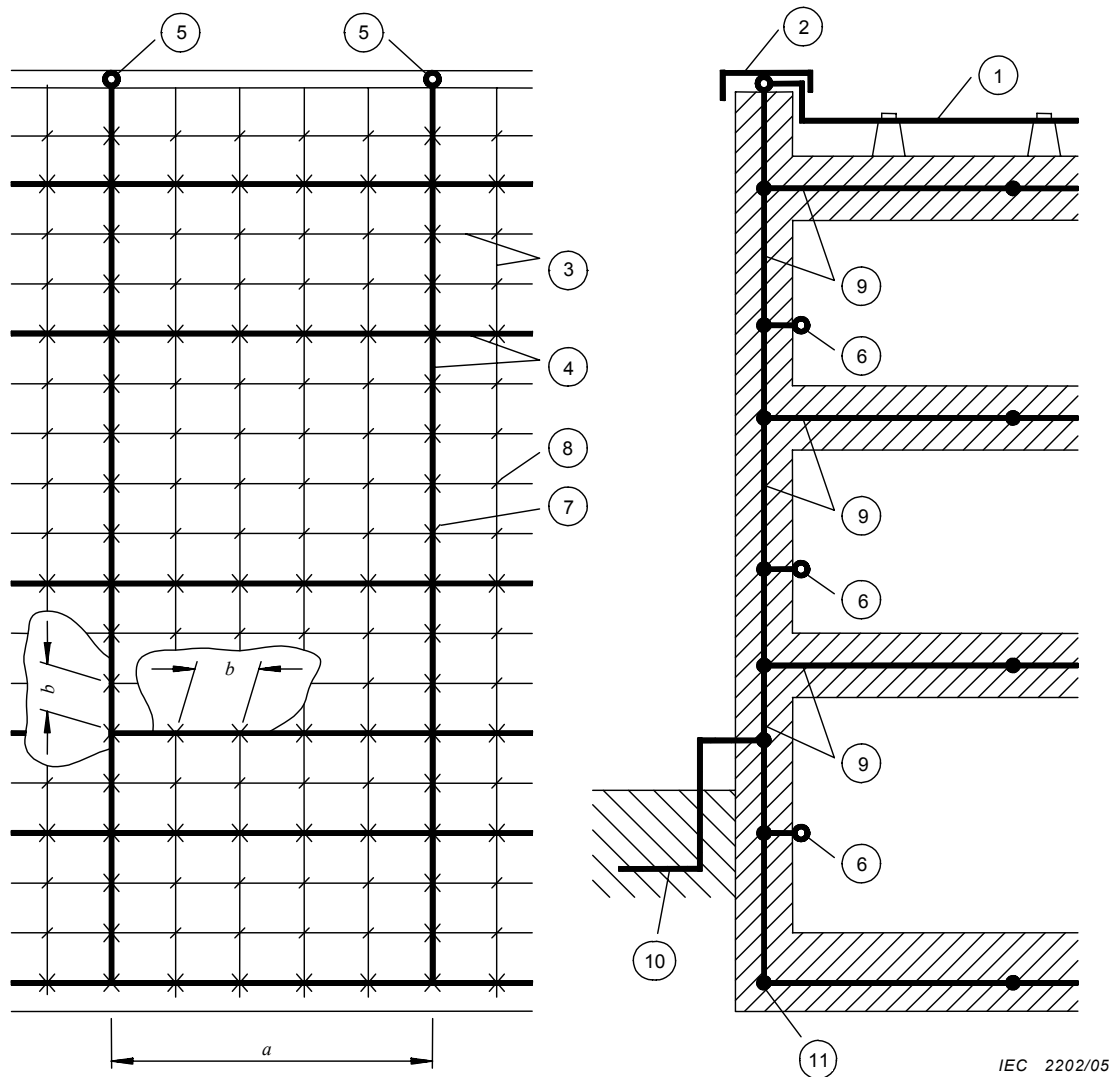
Légende

- 1 conducteur de capture
- 2 revêtement métallique du parapet
- 3 tiges en acier de renfort
- 4 conducteurs maillés en complément des armatures
- 5 jonction de conducteurs maillés
- 6 jonction à une borne de terre interne
- 7 connexion par serrage ou soudure
- 8 connexion arbitraire
- 9 armature du béton (avec conducteurs maillés)
- 10 conducteur de ceinturage (éventuelle)
- 11 boucle à fond de fouille

a distance typique de 5 m pour des conducteurs maillés complémentaires

b distance typique de 1 m pour la connexion des conducteurs maillés aux armatures

Figure 7 – Utilisation des armatures d'une structure pour les équipotentialités



IEC 2202/05

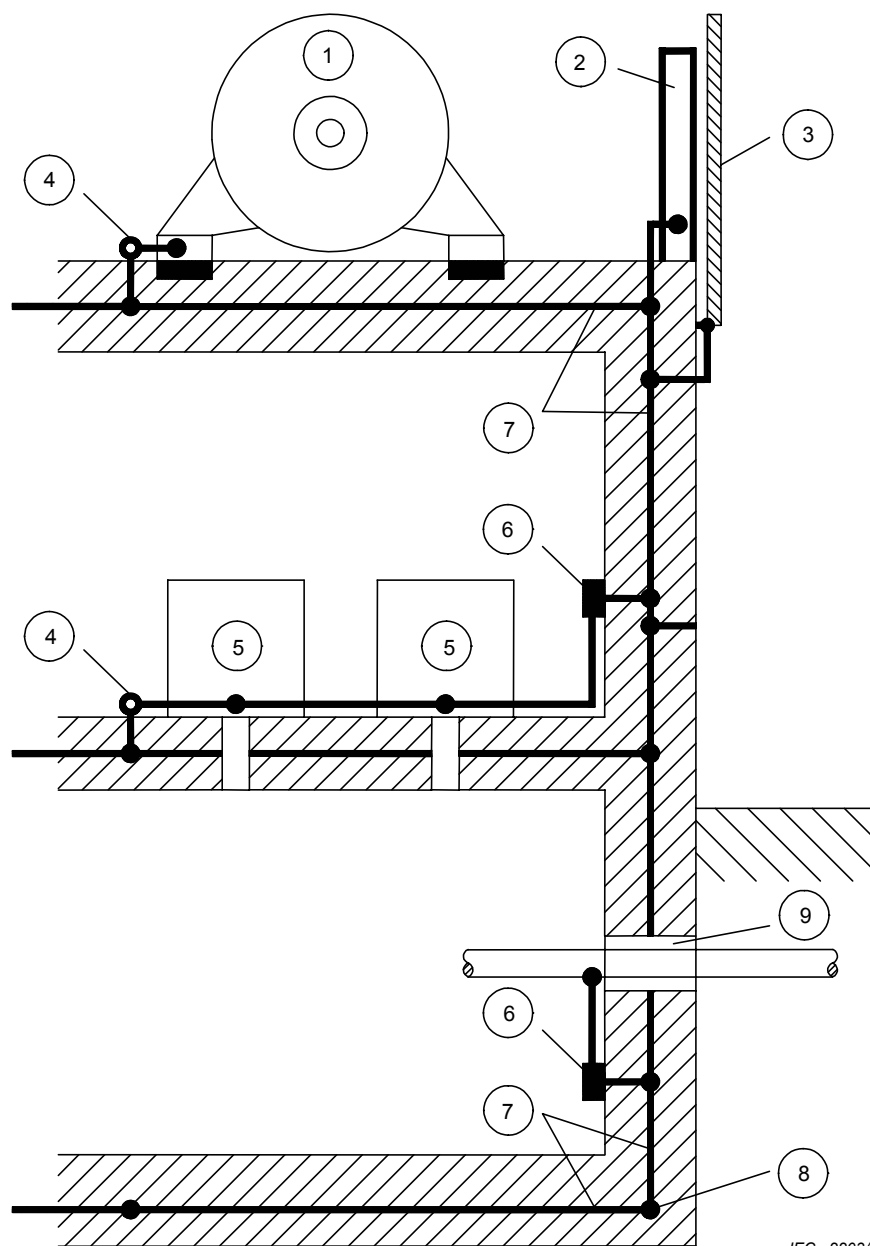
Key

- 1 air termination conductor
- 2 metal covering of the roof parapet
- 3 steel reinforcing rods
- 4 mesh conductors superimposed on the reinforcement
- 5 joint of the mesh conductor
- 6 joint for an internal bonding bar
- 7 connection by welding or clamping
- 8 arbitrary connection
- 9 steel reinforcement in concrete (with superimposed mesh conductors)
- 10 ring earthing electrode (if any)
- 11 foundation earthing electrode

a typical distance of 5 m for superimposed mesh conductors

b typical distance of 1 m for connecting this mesh with the reinforcement

Figure 7 – Utilization of reinforcing rods of a structure for equipotential bonding

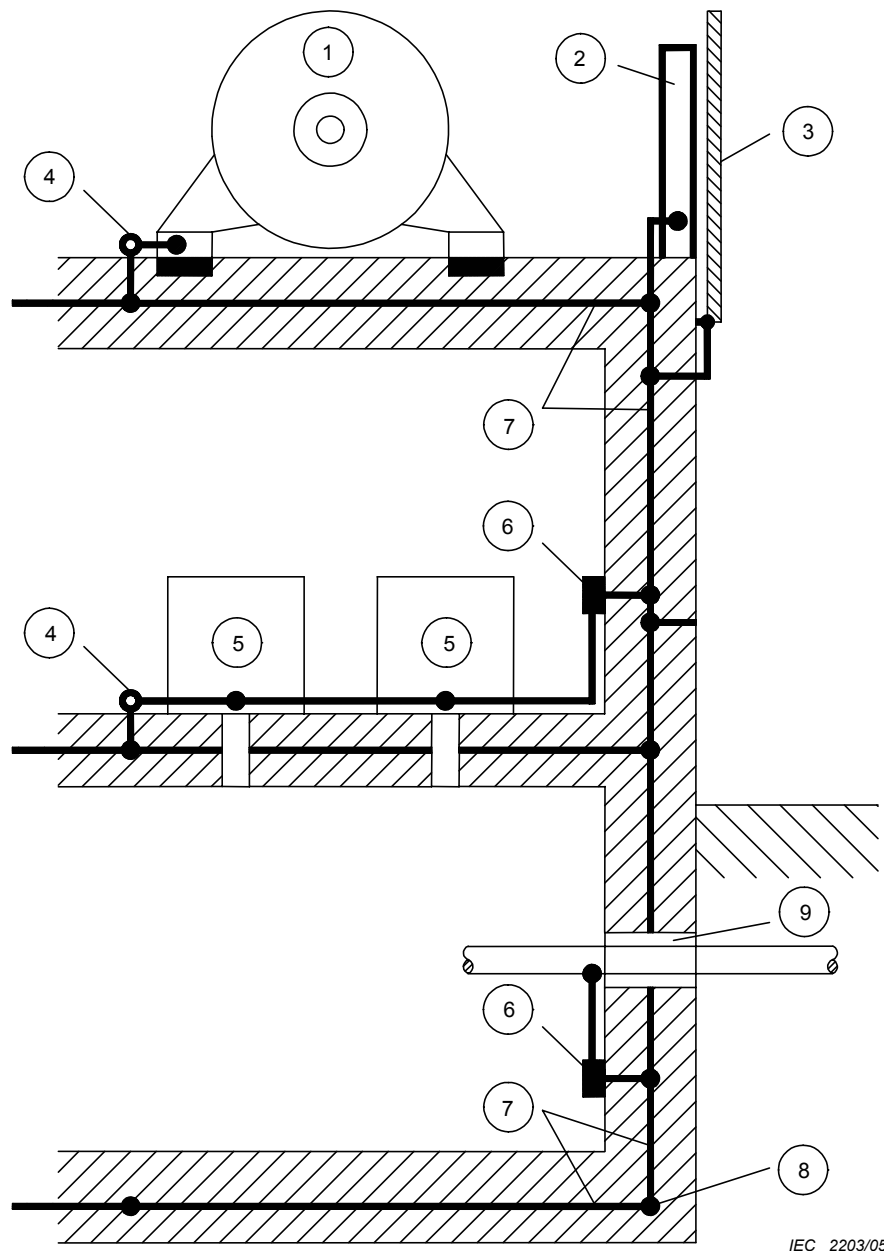


IEC 2203/05

Légende

- 1 équipement électrique de puissance
- 2 poutre métallique
- 3 revêtement métallique de façade
- 4 connexion d'équipotentialité
- 5 matériel électrique ou électronique
- 6 borne de terre
- 7 armature acier du béton (avec conducteurs maillés)
- 8 boucle à fond de fouille
- 9 entrée commune des divers services

Figure 8 – Equipotentialité dans une structure avec armature en acier

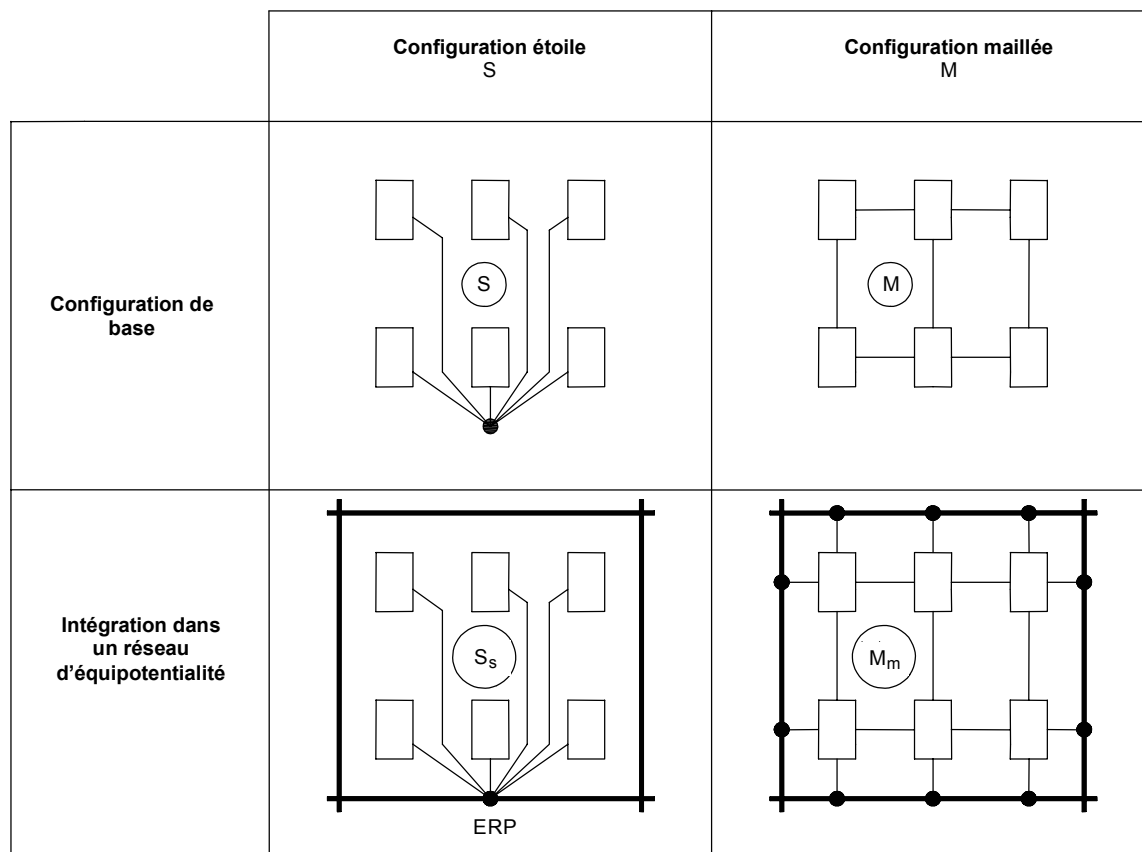


Key

- 1 electrical power equipment
- 2 steel girder
- 3 metal covering of the facade
- 4 bonding joint
- 5 electrical or electronic equipment
- 6 bonding bar
- 7 steel reinforcement in concrete (with superimposed mesh conductors)
- 8 foundation earthing electrode
- 9 common inlet for different services

Figure 8 – Equipotential bonding in a structure with steel reinforcement

Les parties conductrices (par exemple armoires, enveloppes, tiroirs) et le conducteur de protection des circuits des réseaux internes doivent être mis à la terre au réseau d'équipotentialité selon les configurations suivantes (voir Figure 9):



IEC 2204/05





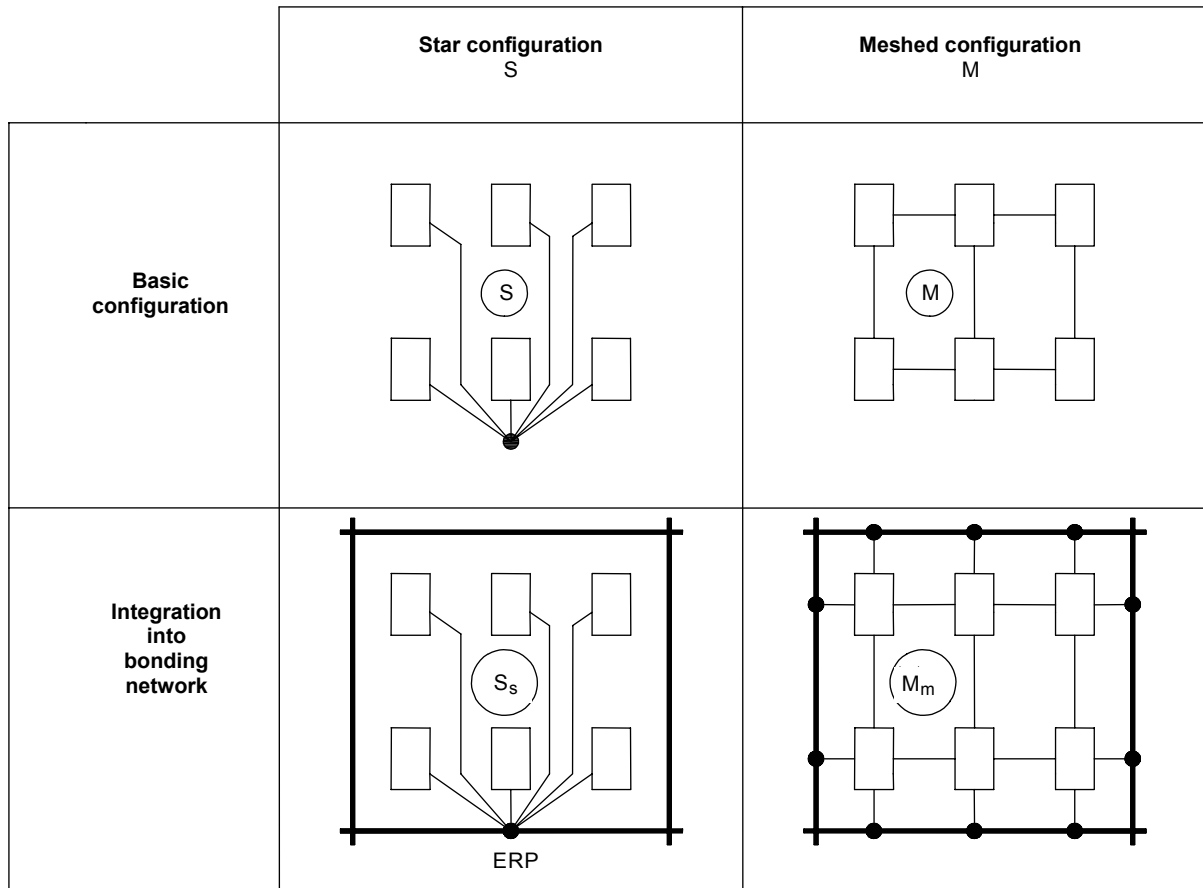
-  Réseau d'équipotentialité
-  Conducteur d'équipotentialité
-  Matériel
-  Jonction au réseau d'équipotentialité
- ERP ERP: point de référence terre
- S_s Configuration étoile intégrée dans un point étoile
- M_m Configuration maillée intégrée dans une maille

Figure 9 – Intégration des réseaux électroniques dans l'équipotentialité

Si la configuration étoile S est utilisée, tous les éléments métalliques (par exemple armoires, enveloppes, tiroirs) des réseaux internes doivent être isolés de manière appropriée par rapport à la terre. Cette configuration étoile S ne doit être intégrée que dans une mise à la terre n'utilisant qu'une seule borne de terre comme terre de référence résultant en un type S_s. Dans ce cas, tous les câbles d'alimentation doivent cheminer parallèlement avec les conducteurs de mise à la terre de la configuration afin d'éviter des boucles d'induction. La configuration étoile S peut être utilisée avec des réseaux internes limités et avec des lignes pénétrant en un seul point.

Conductive parts (e.g. cabinets, enclosures, racks) and the protective earth conductor (PE) of the internal systems shall be connected to the bonding network according to the following configurations (see Figure 9):



IEC 2204/05

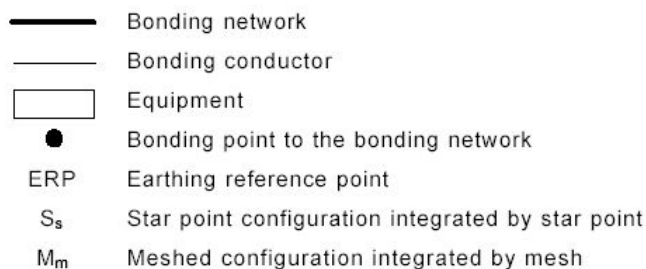
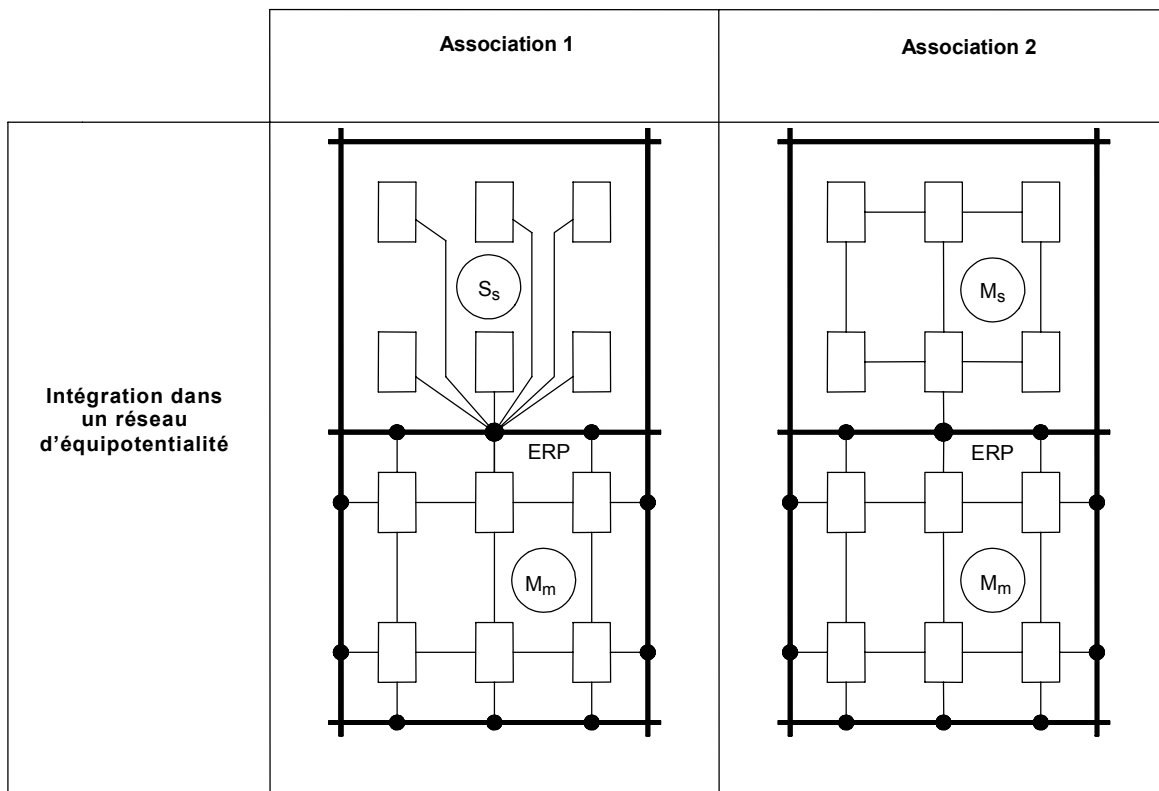


Figure 9 – Integration of electronic systems into the bonding network

If the configuration S is used, all metal components (e.g. cabinets, enclosures, racks) of the internal systems shall be isolated from the earthing system. The configuration S shall be integrated into the earthing system only by a single bonding bar acting as the earth reference point (ERP) resulting in type S_s . When configuration S is used, all lines between the individual equipment shall run in parallel with the bonding conductors following the star configuration in order to avoid induction loops. Configuration S can be used where internal systems are located in relatively small zones and all lines enter the zone at one point only.

Si la configuration maillée M est utilisée, tous les éléments métalliques (par exemple armoires, enveloppes, tiroirs) des réseaux internes ne doivent pas être isolés de la terre en une multitude de points, mais doivent être intégrés dans une mise à la terre en une multitude de points, résultant en un type M_m . Dans ce cas, la configuration M est préférée pour des réseaux internes étendus ou pour l'ensemble de la structure, avec de nombreuses interconnexions entre matériels et si les lignes pénètrent en plusieurs points.

Dans des systèmes complexes, les avantages des deux configurations (M et S) peuvent être associés comme montré à la Figure 10, entraînant l'association 1 (S_s associée à M_m) ou l'association 2 (M_s associée à M_m).



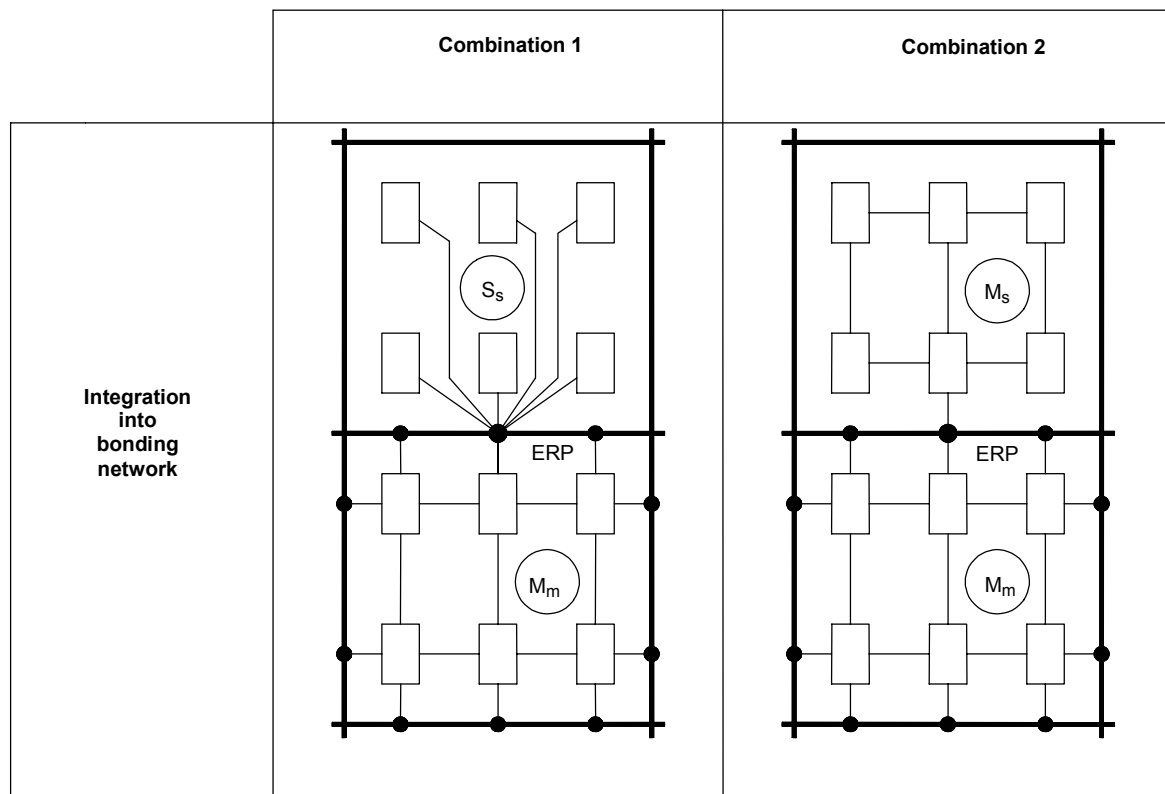
IEC 2205/05

- Réseau d'équipotentialité
- Conducteur d'équipotentialité
- Matériel
- Jonction au réseau d'équipotentialité
- ERP ERP: point de référence terre
- S_s Configuration étoile intégrée dans un point étoile
- M_m Configuration maillée intégrée dans une maille
- M_s Configuration maillée intégrée par un point étoile

Figure 10 – Associations de méthodes d'incorporation des réseaux de communication dans le réseau d'équipotentialité

If configuration M is used, the metal components (e.g. cabinets, enclosures, racks) of the internal systems are not to be isolated from the earthing system, but shall be integrated into it by multiple bonding points, resulting in type M_m . Configuration M is preferred for internal systems extended over relatively wide zones or over a whole structure, where many lines run between the individual pieces of equipment, and where the lines enter the structure at several points.

In complex systems, the advantages of both configurations (configuration M and S) can be combined as illustrated in Figure 10, resulting in combination 1 (S_s combined with M_m) or in combination 2 (M_s combined with M_m).



IEC 2205/05





-  Bonding network
-  Bonding conductor
-  Equipment
-  Bonding point to the bonding network
- ERP Earthing reference point
- S_s Star point configuration integrated by star point
- M_m Meshed configuration integrated by mesh
- M_s Meshed configuration integrated by star point

Figure 10 – Combinations of integration methods of electronic systems into the bonding network

5.3 Barres d'équipotentialité

Les barres d'équipotentialité doivent être installées pour la mise à la terre

- des services conducteurs entrant dans une ZPF (directement ou par parafoudre approprié),
- du conducteur de protection,
- des éléments métalliques des réseaux internes (par exemple armoires, enveloppes, tiroirs),
- les écrans de la ZPF à la périphérie et à l'intérieur de la structure.

Pour l'efficacité de l'équipotentialité, les règles suivantes sont importantes:

- un bon réseau équipotentiel est un réseau à faible impédance;
- les bornes d'équipotentialité sont connectées à la prise de terre par le chemin le plus court (longueur ne dépassant pas 0,5 m);
- les matériaux et dimensions des barres d'équipotentialité et des conducteurs doivent satisfaire à 5.5;
- il convient que les connexions des parafoudres soient les plus courtes possible en amont et en aval de ceux-ci pour éviter des chutes de tension inductive;
- en aval du parafoudre, il convient que les effets d'induction mutuelle sont minimisés, soit en réduisant les boucles d'induction, soit en utilisant des câbles écrantés ou des conduits.

5.4 Equipotentialité à la frontière d'une ZPF

Si une ZPF est définie, une équipotentialité des parties métalliques et des services (canalisations métalliques, réseaux de puissance et de communication) doit être réalisée en pénétrant la frontière de la ZPF.

NOTE Il convient que la mise à la terre des services entrant dans la ZPF 1 soit négociée avec les opérateurs des réseaux (puissance ou de communication) afin d'éviter des exigences conflictuelles.

L'équipotentialité doit être effectuée à l'aide de bornes disposées aussi près que possible du point de pénétration.

Il convient que les services pénètrent au même point et soient connectés à la même borne. Si les services pénètrent en plusieurs points d'une ZPF, chaque service doit être connecté à une borne d'équipotentialité et les diverses bornes doivent être interconnectées. A cette fin, un ceinturage d'équipotentialité est recommandé.

Les parafoudres d'équipotentialité sont toujours prescrits au point d'entrée dans la ZPF afin de connecter les lignes des réseaux internes entrants dans la ZPF. Le nombre de parafoudres peut être réduit en utilisant des ZPF interconnectées ou étendues.

Les câbles écrantés ou les conduits métalliques, mis à la terre à chaque extrémité de la ZPF, peuvent être utilisés pour l'interconnexion de plusieurs ZPF proches de même niveau ou pour étendre une ZPF.

5.5 Matériaux et dimensions des éléments d'équipotentialité

Les matériaux, les dimensions et les conditions d'utilisation doivent être conformes à la CEI 62305-3. Les sections minimales doivent être conformes aux valeurs du Tableau 1.

Les fixations doivent être dimensionnées en fonction des valeurs du courant de foudre du niveau de protection (voir la CEI 62305-1) et les facteurs influençant le partage du courant (voir Annexe B de la CEI 62305-3).

Les parafoudres doivent être choisis conformément à l'Article 7.

5.3 Bonding bars

Bonding bars shall be installed for bonding of

- all conductive services entering a LPZ (directly or by using suitable SPDs),
- the protective earth conductor PE,
- metal components of the internal systems (e.g. cabinets, enclosures, racks),
- the magnetic shields of the LPZ at the periphery and inside the structure.

For efficient bonding the following installation rules are important:

- the basis for all bonding measures is a low impedance bonding network;
- bonding bars should be connected to the earthing system by shortest possible route (using bonding conductors not longer than 0,5 m);
- material and dimensions of bonding bars and bonding conductors shall comply with 5.5;
- SPD should use the shortest possible connections to the bonding bar as well as to the live conductors thus minimizing inductive voltage drops;
- on the protected side of the circuit (after an SPD), mutual induction effects should be minimized, either by minimizing the loop area or using shielded cables or cable ducts.

5.4 Bonding at the boundary of an LPZ

Where an LPZ is defined, bonding shall be provided for all metal parts and services (e.g. metal pipes, power lines or signal lines) penetrating the boundary of the LPZ.

NOTE Bonding of services entering LPZ 1 should be discussed with the service network providers involved (e.g. electrical power or telecommunication authorities), because there could be conflicting requirements.

Bonding shall be performed via bonding bars, which are installed as close as possible to the entrance point at the boundary.

Where possible, incoming services should enter the LPZ at the same location and be connected to the same bonding bar. If services enter the LPZ at different locations, each service shall be connected to a bonding bar and these bonding bars shall be connected together. To this end, bonding to a ring bonding bar (ring conductor) is recommended.

Equipotential bonding SPD(s) are always required at the entrance of the LPZ to bond incoming lines, which are connected to the internal systems within the LPZ, to the bonding bar. Using an interconnected or extended LPZ can reduce the number of required SPDs.

Shielded cables or interconnected metal cable ducts, bonded at each LPZ boundary, can be used either to interconnect several LPZ of the same order to one joint LPZ, or to extend an LPZ to the next boundary.

5.5 Material and dimensions of bonding components

Material, dimensions and conditions of use shall comply with IEC 62305-3. The minimum cross-section for bonding components shall comply with Table 1.

Clamps shall be dimensioned in accordance with the lightning current values of the LPL (see IEC 62305-1) and the current sharing analysis (see Annex B, IEC 62305-3).

SPD shall be dimensioned in accordance with Clause 7.

Tableau 1 – Sections minimales des composants d'équipotentialité

Composant de mise à la terre		Matériau	Section mm ²
Bornes de terre (cuivre ou acier galvanisé)		Cu, Fe	50
Conducteurs de connexion depuis les bornes de terre au système de terre ou entre les autres bornes de terre		Cu	14
		Al	22
		Fe	50
Conducteurs de connexion depuis les installations internes métalliques et les bornes de terre		Cu	5
		Al	8
		Fe	16
Conducteurs de connexion des parafoudres	Classe I	Cu	5
	Classe II		3
	Classe III		1
NOTE II convient les matériaux autre que le cuivre présentent une section équivalente.			

6 Ecrans magnétiques et cheminement

Les écrans magnétiques peuvent diminuer les champs électromagnétiques et la magnitude des chocs induits internes. Un cheminement approprié des lignes internes peut aussi minimiser les chocs internes induits. Les deux mesures sont efficaces contre des défaillances permanentes des réseaux internes.

6.1 Ecran spatial

Un écran spatial définit une zone protégée, qui peut couvrir soit l'ensemble de la structure, une de ses parties, un local ou une enveloppe de matériel seule. Cela peut être un écran métallique en grille ou continu ou l'utilisation de « composants naturels » de la structure elle-même (voir la CEI 62305-3).

Un écran spatial est envisageable là où il est plus pratique et utile de protéger une zone définie de la structure et non plusieurs matériels. Il convient de prévoir un écran spatial lors de l'étude préliminaire d'une structure neuve ou d'un nouveau réseau interne, car dans des structures existantes, des coûts plus élevés et des difficultés techniques peuvent apparaître.

6.2 Ecran des lignes internes

L'écran peut être limité au câblage et aux matériels à protéger: écran métallique des câbles, conduits métalliques fermés et enveloppes métalliques des matériels sont utilisés à cette fin.

6.3 Cheminement des lignes internes

Un cheminement approprié des lignes internes minimise les boucles d'induction et réduit les surtensions internes. La surface de boucle peut être minimisée par un cheminement adjacent aux composants naturels de la structure mis à la terre et/ou un cheminement adjacent des réseaux de puissance et de communication.

NOTE Une distance de séparation entre réseaux de puissance et réseaux de communication non écrantés peut être nécessaire pour éviter des perturbations.

Table 1 – Minimum cross-sections for bonding components

Bonding component		Material	Cross-section mm ²
Bonding bars (copper or galvanized steel)		Cu, Fe	50
Connecting conductors from bonding bars to the earthing system or to other bonding bars		Cu	14
		Al	22
		Fe	50
Connecting conductors from internal metal installations to bonding bars		Cu	5
		Al	8
		Fe	16
Connecting conductors for SPD	Class I	Cu	5
	Class II		3
	Class III		1
NOTE Other material used should have cross-sections ensuring equivalent resistance.			

6 Magnetic shielding and line routing

Magnetic shielding can reduce the electromagnetic field as well as the magnitude of induced internal surges. Suitable routing of internal lines can also minimize the magnitude of induced internal surges. Both measures are effective in reducing permanent failure of internal systems.

6.1 Spatial shielding

Spatial shields define protected zones, which may cover the whole structure, a part of it, a single room or the equipment enclosure only. These may be grid-like, or continuous metal shields, or comprise the "natural components" of the structure itself (see IEC 62305-3).

Spatial shields are advisable where it is more practical and useful to protect a defined zone of the structure instead of several individual pieces of equipment. Spatial shields should be provided in the early planning stage of a new structure or a new internal system. Retrofitting to existing installations may result in higher costs and greater technical difficulties.

6.2 Shielding of internal lines

Shielding may be restricted to cabling and equipment of the system to be protected: metallic shield of cables, closed metallic cable ducts and metallic enclosure of equipment are used for this purpose.

6.3 Routing of internal lines

Suitable routing of internal lines minimizes induction loops and reduces the creation of surge voltages internal to the structure. The loop area can be minimized by routing the cables close to natural components of the structure which have been earthed and/or by routing electrical and signal lines together.

NOTE Some distance between power lines and unshielded signal lines may still be needed to avoid interference.

6.4 Ecran des lignes externes

L'écran des lignes externes pénétrant dans la structure comprend l'écran des câbles, les conduits métalliques ou en béton armé avec armatures interconnectées. L'écran des lignes externes est utile, mais souvent en dehors de la responsabilité du concepteur des SMPI (domaine des opérateurs).

6.5 Matériaux et dimensions des écrans magnétiques

A la frontière des zones ZPF 0_A et ZPF 1, les matériaux et les dimensions des écrans magnétiques (par exemple écrans spatiaux en grille, écran de câbles ou enveloppes de matériel) doivent satisfaire aux exigences de la CEI 62305-3 relatives aux conducteurs des dispositifs de capture et de descente. En particulier:

- l'épaisseur minimale des feuilles métalliques, des conduits, des canalisations et des écrans des câbles doit satisfaire aux valeurs du Tableau 3 de la CEI 62305-3;
- la configuration et la section minimale des conducteurs de l'écran en grille doivent satisfaire aux valeurs du Tableau 6 de la CEI 62305-3.

Pour les écrans magnétiques qui ne sont pas prévus pour conduire les courants des foudres, la conformité des écrans magnétiques aux Tableaux 3 et 6 de la CEI 62305-3 n'est pas requise:

- à la frontière des zones ZPF 1/2 ou au-dessus si la distance de séparation s entre les écrans magnétiques et le SPF est respectée (voir la CEI 62305-3, 6.3);
- à la frontière de toute ZPF si la composante de risque R_D due au foudroiement direct de la structure est négligeable (voir la CEI 62305-2).

7 Parafoudres coordonnés

La protection des réseaux internes contre les chocs peut nécessiter une approche systématique consistant en l'utilisation de parafoudres coordonnés à la fois pour les réseaux électrique et de communication. Les principes de choix et de mise en œuvre de ces parafoudres sont identiques pour les réseaux de puissance et de communication (voir l'Annexe C) mais, en raison de la diversité des caractéristiques des matériels sensibles (analogiques, numériques, c.c. ou c.a., faible ou haute fréquence), le choix et la mise en œuvre de parafoudres coordonnés sont différents de ceux conçus uniquement pour le système électrique.

Dans des SMPI, en utilisant le concept de zones avec plus de deux zones (ZPF 1, ZPF 2 et plus), les parafoudres doivent être placés à la pénétration des lignes dans chaque ZPF (voir Figure 2).

Dans des SMPI utilisant seulement une ZPF 1, les parafoudres doivent être placés au moins au point d'entrée de la ligne dans la ZPF 1.

Dans les deux cas, des parafoudres complémentaires peuvent être prescrits si la distance entre le parafoudre et le matériel à protéger est trop longue (voir l'Annexe D).

Les exigences d'essais des parafoudres doivent être conformes à

- la CEI 61643-1 pour les réseaux de puissance,
- la CEI 61643-21 pour les réseaux de signaux et de télécommunication.

6.4 Shielding of external lines

Shielding of external lines entering the structure includes cable shields, closed metallic cable ducts and concrete cable ducts with interconnected reinforcement steel. Shielding of external lines is helpful, but often not within the responsibility of the LPMS planner (since the owner of external lines is normally the network provider).

6.5 Material and dimensions of magnetic shields

At the boundary of LPZ 0_A and LPZ 1, materials and dimensions of magnetic shields (e.g. grid-like spatial shields, cable shields and equipment enclosures) shall comply with the requirements of IEC 62305-3 for air termination conductors and/or down conductors. In particular:

- minimum thickness of sheet metal parts, metal ducts, piping and cable shields shall comply with Table 3 of IEC 62305-3;
- layouts of grid-like spatial shields and the minimum cross-section of their conductors, shall comply with Table 6 of IEC 62305-3.

For magnetic shields not intended to carry lightning currents, the dimensioning of these shields in accordance with Tables 3 and 6 of IEC 62305-3 is not required:

- at the boundary of zones LPZ 1/2 or higher, provided that the separation distance s between magnetic shields and the LPS is fulfilled (see 6.3 of IEC 62305-3),
- at the boundary of any LPZ, if the risk component R_D due to lightning flashes to the structure is negligible (see IEC 62305-2).

7 Coordinated SPD protection

The protection of internal systems against surges may require a systematic approach consisting of coordinated SPDs for both power and signal lines. The basic approach to the coordination of SPDs (see Annex C) is the same in both cases, but because of the extensive diversity of electronic system and their characteristics (analog or digital, d.c. or a.c., low or high frequency), the rules for the selection and installation of a coordinated SPD protection system are different to those which apply to the choice of SPDs for electrical systems only.

In an LPMS using the lightning protection zones concept with more than one LPZ (LPZ 1, LPZ 2 and higher), SPD(s) shall be located at the line entrance into each LPZ (see Figure 2).

In an LPMS using LPZ 1 only, SPD shall be located at the line entrance into LPZ 1 at least.

In both cases, additional SPDs may be required if the distance between the location of the SPD and the equipment being protected is long (see Annex D).

The SPD's test requirements shall comply with

- IEC 61643-1 for power systems,
- IEC 61643-21 for telecommunication and signalling systems.

Le choix et la mise en œuvre des parafoudres coordonnés doit satisfaire aux normes suivantes:

- la CEI 61643-12 et la CEI 60364-5-53 pour la protection des réseaux de puissance;
- la CEI 61643-22 pour la protection des réseaux de signaux et de télécommunication.

Des informations de base concernant le choix et l'installation des parafoudres coordonnés sont données à l'Annexe D.

Des informations sur les chocs dus à la foudre pour le dimensionnement des parafoudres en divers points de l'installation sont données à l'Annexe E de la CEI 62305-1.

8 Gestion d'un SMPI

Afin d'obtenir une protection efficace avec un investissement minimal, il est nécessaire que la conception des installations des réseaux internes soit réalisée pendant la conception et avant la construction du bâtiment. Ainsi, il est possible d'optimiser l'utilisation des composants naturels de la structure et de choisir le meilleur compromis pour l'emplacement des circuits et des matériels en se référant aux choix possibles admissibles.

Pour les structures existantes, le coût du SMPI est généralement plus élevé que pour des structures neuves. Toutefois, il est possible d'optimiser le coût par un choix approprié des ZPF et en utilisant les installations existantes ou en les améliorant.

Une protection appropriée contre l'IEMF ne peut être réalisée que si

- des dispositions sont définies par un expert en protection contre la foudre,
- une excellente coordination est faite entre les divers experts impliqués dans la construction du bâtiment et le SMPI (par exemple ingénieurs de travaux et électriciens),
- le plan d'étude présenté en 8.1 est suivi.

Les SMPI doivent être maintenues par inspection et par entretien. Si des modifications ont été réalisées dans la structure ou dans les moyens de protection, il convient d'effectuer une nouvelle estimation du risque.

8.1 Méthode de gestion d'un SMPI

Le planning et la coordination d'un SMPI nécessite une organisation telle que définie dans le Tableau 2. Cela commence par une analyse initiale du risque (CEI 62305-2) pour déterminer la nécessité des mesures de protection pour réduire le risque à un niveau tolérable. Pour cela, les zones de protection doivent être définies.

Selection and installation of a coordinated SPD protection shall comply with

- IEC 61643-12 and IEC 60364-5-53 for protection of power systems,
- IEC 61643-22 for protection of telecommunications and signalling systems.

Some basic information about the selection and installation of a coordinated SPD protection is given in Annex D.

Information on the magnitude of surges created by lightning for the purpose of dimensioning SPDs, at different installation points in the structure, is given in Annex E of IEC 62305-1.

8 Management of an LPMS

To achieve a cost effective and efficient protection system, the design of the protection system for the internal systems should be carried out during the building design stage and before construction. This allows one to optimize the use of the natural components of the structure and to choose the best compromise for the cabling layout and equipment location.

For retrofit to existing structures, the cost of LPMS is generally higher than that the cost for new structures. However, it is possible to minimize the investment cost by a proper choice of LPZ and by using existing installations or by upgrading them.

Proper protection can only be achieved if

- provisions are defined by a lightning protection expert,
- good coordination exists between the different experts involved in the building construction and in the LPMS (e.g. civil and electrical engineers),
- the management plan of 8.1 is followed.

The LPMS shall be maintained by inspection and maintenance. After relevant changes to the structure or to the protection measures, a new risk assessment should be carried out.

8.1 LPMS management plan

Planning and coordination of an LPMS requires a management plan (see Table 2), which begins with an initial risk assessment (IEC 62305-2) to determine the required protection measures needed to reduce the risk to a tolerable level. To accomplish this, the lightning protection zones shall be determined.

Tableau 2 – Plan de gestion des SMPI pour des bâtiments neufs et pour des modifications importantes dans la construction ou l'utilisation de bâtiments

Etape	But	Action à effectuer par
Analyse préliminaire du risque ¹⁾	Vérification de la nécessité de protection contre l'IEMF Si nécessaire, choix des mesures de protection appropriées par la méthode d'analyse du risque	Expert foudre ²⁾ Propriétaire
Analyse finale du risque ¹⁾	Il est recommandé que le rapport coût/bénéfice pour les mesures choisies soit optimisé en utilisant de nouveau la méthode d'analyse du risque Comme résultat sont définis: - le niveau de protection et les paramètres de foudre; - les ZPF et leurs frontières	Expert foudre ²⁾ Propriétaire
Plan de protection d'un SMPI	Définition des SMPI: - mesures d'écran spatial - réseaux d'équipotentialité - réseaux de terre - écrans des lignes et cheminement - écrans des services entrants - protection des parafoudres coordonnés	Expert foudre Propriétaire Architecte Concepteurs des réseaux internes Concepteurs des installations considérées
Conception d'un SPI	Schémas généraux et descriptions Préparation des listes de pièces Schémas détaillés et projets d'installation	Bureau d'études ou équivalent
Installation d'un SPI y compris le contrôle	Qualité de l'installation Documentation Révision éventuelle des schémas	Expert foudre Installateur du SPI Bureau d'études Contrôleur
Approbation d'un SPI	Vérification de la documentation du système	Expert foudre indépendant Contrôleur
Inspections périodiques	Vérification de la conformité du SPI	Expert foudre Contrôleur
¹⁾ Voir la CEI 62305-2.		
²⁾ Ayant une vaste connaissance de la CEM et des règles d'installation.		

Conformément aux niveaux de protection définis dans la CEI 62305-1, et les mesures de protection à adopter, les étapes suivantes s'appliquent:

- un réseau de mise à la terre (prise de terre et réseau d'équipotentialité) doit être prévu;
- les parties métalliques externes et les services entrants doivent être mis à la terre soit directement, soit par parafoudres appropriés;
- les réseaux internes doivent être intégrés dans le réseau de terre;
- l'écran spatial d'une ZPF associé au cheminement et au blindage peuvent être mis en place;
- les exigences pour les parafoudres coordonnés doivent être spécifiées;
- pour les structures existantes, des mesures particulières peuvent être nécessaires (voir l'Annexe B).

Après cela, il convient que le rapport prix/bénéfice pour les mesures de protection choisies soit réévalué et optimisé en utilisant à nouveau l'analyse du risque.

Table 2 – LPMS management plan for new buildings and for extensive changes in construction or use of buildings

Step	Aim	Action to be taken by
Initial risk analysis ¹⁾	To check the need for LEMP protection If needed, select suitable LMPS using the risk assessment method	Lightning protection expert ²⁾ Owner
Final risk analysis ¹⁾	The cost/benefit ratio for the selected protection measures should be optimized using the risk assessment method again As a result the following are defined: - LPL and the lightning parameters - LPZ and their boundaries	Lightning protection expert ²⁾ Owner
LPMS planning	Definition of the LPMS: - spatial shielding measures - bonding networks - earth termination systems - line shielding and routing - shielding of incoming services - coordinated SPD protection	Lightning protection expert Owner Architect Planners of internal systems Planners of relevant installations
LPMS design	General drawings and descriptions Preparation of lists for tenders Detailed drawings and timetables for the installation	Engineering office or equivalent
Installation of the LPMS including supervision	Quality of installation Documentation Possibly revision of the detailed drawings	Lightning protection expert Installer of the LPMS Engineering office Supervisor
Approval of the LPMS	Checking and document the state of the system	Independent lightning protection expert Supervisor
Recurrent inspections	Ensuring the adequacy of the LPMS	Lightning protection expert Supervisor
¹⁾ See IEC 62305-2. ²⁾ With a broad knowledge of EMC and knowledge of installation practices.		

According to the LPL defined in IEC 62305-1, and the protection measures to be adopted, the following steps shall be carried out:

- an earthing system, comprising a bonding network and an earth termination system, shall be provided;
- external metal parts and incoming services shall be bonded directly or via suitable SPDs;
- the internal system shall be integrated into the bonding network;
- spatial shielding in combination with line routing and line shielding may be implemented;
- requirements for a coordinated SPD protection shall be determined;
- for existing structures, special measures may be needed (see Annex B).

After this, the cost/benefit ratio of the selected protection measures should be re-evaluated and optimised using the risk assessment method again.

8.2 Inspection d'un SMPI

L'inspection comprend la vérification de la documentation technique, les vérifications visuelles et les mesures d'essai. Les objectifs d'une inspection sont de vérifier que

- le SMPI est conforme à sa conception;
- le SMPI est apte à sa fonction;
- toute nouvelle mesure de protection est intégrée de manière correcte dans le SMPI.

Les inspections doivent être effectuées

- lors de l'installation du SMPI,
- après l'installation du SMPI,
- périodiquement,
- après toute détérioration de composants du SMPI,
- si possible après un coup de foudre sur la structure (identifié par exemple par un compteur de foudre ou par un témoin ou encore si une évidence visuelle est constatée sur un dommage de la structure).

La fréquence des inspections périodiques doit être fixée selon les considérations suivantes:

- l'environnement local, tel que le sol ou l'atmosphère corrosive;
- le type des mesures de protection utilisées.

8.2.1 Procédure d'inspection

8.2.1.1 Vérification de la documentation technique

Après l'installation d'un nouveau SMPI la documentation technique doit être vérifiée pour contrôler sa conformité avec les normes appropriées, et constater l'achèvement du système. Par suite, la documentation technique doit être mise à jour d'une façon régulière, par exemple après détérioration ou extension du SMPI.

8.2.1.2 Inspection visuelle

Une inspection visuelle doit être réalisée pour vérifier que

- les connexions sont serrées et qu'aucune rupture de conducteur ou de jonction n'existe,
- aucune partie du système est fragilisée par la corrosion, particulièrement au niveau du sol,
- les conducteurs de mise à la terre et les écrans de câbles sont intacts,
- il n'existe pas d'ajouts ou de modifications nécessitant une protection complémentaire,
- il n'y a pas de dommages de parafoudres et de leur fusible,
- le cheminement des câbles est maintenu,
- les distances de sécurité aux écrans spatiaux sont maintenues.

8.2.1.3 Mesures

Pour les parties des mises à la terre et des équipotentialités non visibles lors de l'inspection, il convient que des mesures de continuité soient effectuées.

8.2 Inspection of an LPMS

The inspection comprises checking the technical documentation, visual inspections and test measurements. The object of the inspection is to verify that

- the LPMS complies with the design,
- the LPMS is capable of performing its design function,
- any newly added protection measure is integrated correctly into the LPMS.

Inspections shall be made

- during the installation of the LPMS,
- after the installation of the LPMS,
- periodically,
- after any alteration of components relevant to the LPMS,
- possibly after a lightning flash to the structure (e.g. where indicated by a lightning flash counter, or where an eyewitness account of a flash to the structure is provided, or where there is visual evidence of lightning-related damage to the structure).

The frequency of the periodical inspections shall be determined with consideration to

- the local environment, such as corrosive soils and corrosive atmospheric conditions,
- the type of protection measures employed.

8.2.1 Inspection procedure

8.2.1.1 Checking of technical documentation

After the installation of a new LPMS, the technical documentation shall be checked for compliance with the relevant standards, and for completeness. Consequently, the technical documentation shall be continuously updated, e.g. after any alteration or extension of the LPMS.

8.2.1.2 Visual inspection

Visual inspection shall be carried out to verify that

- there are no loose connections nor any accidental breaks in conductors and joints,
- no part of the system has been weakened due to corrosion, especially at ground level,
- bonding conductors and cable shields are intact,
- there are no additions or alterations which require further protection measures,
- there is no indication of damage to the SPDs and their fuses or disconnectors,
- appropriate line routings are maintained,
- safety distances to the spatial shields are maintained.

8.2.1.3 Measurements

For those parts of an earthing system and bonding network which are not visible for inspection, measurements of electrical continuity should be performed.

8.2.2 Documentation pour l'inspection

Il convient de préparer un guide d'inspection pour la rendre plus facile. Il est recommandé que le guide contienne suffisamment d'informations pour aider l'inspecteur dans sa tâche, de manière qu'il puisse documenter tous les aspects de l'installation et des composants, les méthodes d'essai et l'enregistrement des résultats d'essais.

L'inspecteur doit préparer un rapport devant être annexé au rapport de conception et aux précédents rapports d'inspection. Le rapport d'inspection doit comporter au moins les informations relatives à:

- l'état général du SMPI ,
- toute(s) déviation(s) par rapport aux exigences de conception;
- les résultats des essais effectués.

8.3 Maintenance

Après l'inspection, tout défaut relevé doit être réparé sans délai et si nécessaire, la documentation technique doit être mise à jour.

8.2.2 Inspection documentation

An inspection guide should be prepared to facilitate the process. The guide should contain sufficient information to assist the inspector with his task, so that all aspects of the installation and its components, tests methods and test data which is recorded, can be documented.

The inspector shall prepare a report, which shall be attached to the technical documentation and the previous inspection reports. The inspection report shall contain information covering

- the general status of the LPMS,
- any deviation(s) from the technical documentation,
- the result of any measurements performed.

8.3 Maintenance

After inspection, all defects noted shall be corrected without delay. If necessary, the technical documentation shall be updated.

Annexe A (informative)

Éléments essentiels pour l'évaluation de l'environnement électromagnétique dans une ZPF

La présente annexe donne des informations pour l'évaluation de l'environnement électromagnétique dans une ZPF, qui peuvent être utilisées, à la fois pour la protection contre l'IEMF et pour la protection contre les perturbations électromagnétiques.

A.1 Dégradation par la foudre des réseaux de puissance et de communication

A.1.1 Source de dégradation

La source primaire de dégradation est le courant de foudre et son champ magnétique associé, ce dernier ayant la même forme d'onde que le courant de foudre.

NOTE Pour la protection, l'influence du champ électrique de foudre est mineure.

A.1.2 Victimes des dégradations

Les victimes des dégradations sont les systèmes internes dans et sur la structure, qui présentent une immunité limitée contre les chocs et les champs magnétiques et qui peuvent être soumis aux effets de la foudre et à leurs champs magnétiques associés.

Les matériels à l'extérieur de la structure sont mis en danger par le champ magnétique non atténué et éventuellement par les coups de foudre directs s'ils sont mis en œuvre dans des emplacements exposés.

Les systèmes électroniques dans la structure sont mis en danger par le champ électromagnétique restant atténué et par les chocs internes conduits ou induits et par les chocs externes conduits par les lignes entrantes.

Pour les informations relatives à l'immunité de l'installation, il convient de se référer aux normes suivantes:

- L'immunité de l'installation est définie dans la CEI 60664-1.
 - L'immunité des matériels de communication est définie dans l'UIT-T K.20 et l'UIT-T K.21.
 - Le niveau de tenue des matériels est défini dans les spécifications de produits ou peut être testée:
 - l'immunité contre les chocs conduits est démontrée par l'essai indiqué dans la CEI 61000-4-5 avec des niveaux d'essais en tension: 0,5 – 1 – 2 – 4 kV en onde 1,2/50 μ s avec des courants correspondants de 0,25 – 0,5 – 1 – 2 kA en onde 8/20 μ s;
- NOTE Pour que certains matériels satisfassent aux exigences de la norme ci-dessus, ils peuvent comporter des parafoudres intégrés. Les caractéristiques de ces parafoudres peuvent affecter les règles de la coordination.
- l'immunité contre les champs magnétiques est définie par l'essai de la CEI 61000-4-9 avec des niveaux d'essais: 100 – 300 – 1 000 A/m en onde 8/20 μ s et de la CEI 61000-4-10 avec des niveaux d'essais: 10 – 30 – 100 A/m à 1 MHz.

Les matériels non conformes à la radio fréquence (RF), aux émissions radio, et aux essais d'immunité tels que définis dans les normes CEM appropriées peuvent être soumis à des champs magnétiques rayonnés. Par ailleurs, la défaillance d'un matériel conforme à ces essais peut être négligée.

Annex A (informative)

Basics for evaluation of electromagnetic environment in a LPZ

This annex provides information for the evaluation of the electromagnetic environment inside an LPZ, which can be used for protection against LEMP. It is also suitable for protection against electromagnetic interference.

A.1 Harmful effects on electrical and electronic systems due to lightning

A.1.1 Source of harm

The primary source of harm is the lightning current and its associated magnetic field, which has the same waveshape as the lightning current.

NOTE In terms of protection, the influence of the lightning electric field is usually of minor interest.

A.1.2 Victims of harm

Internal systems installed in or on a structure, having only a limited withstand level to surges and to magnetic fields, may be damaged or operate incorrectly when subjected to the effects of lightning and its subsequent magnetic fields.

Systems mounted outside a structure can be at risk due to the unattenuated magnetic field and, if positioned in an exposed location, due to surges up to a full lightning current of a direct lightning flash.

Systems installed inside a structure can be at risk due to the remaining attenuated magnetic field and due to the conducted or induced internal surges and by external surges conducted by incoming lines.

For details concerning equipment withstand levels, the following standards are of relevance:

- The withstand level of the power installation is defined in IEC 60664-1.
- The withstand level of telecommunication equipment is defined in ITU-T K.20 and K.21.
- The withstand level of general equipment is defined in their product specifications or can be tested
 - against conducted surges, using IEC 61000-4-5 with test levels for voltage: 0,5 – 1 – 2 – 4 kV at 1,2/50 μ s waveshape and with test levels for current: 0,25 – 0,5 – 1 – 2 kA at 8/20 μ s waveshape;

NOTE In order for certain equipment to meet the requirements of the above standard, they may incorporate internal SPDs. The characteristics of these internal SPDs may affect the coordination requirements.

- against magnetic fields, using IEC 61000-4-9 with test levels: 100 – 300 – 1 000 A/m at 8/20 μ s waveshape and IEC 61000-4-10 with test levels: 10-30-100 A/m at 1 MHz.

Equipment not complying with radio frequency (RF), radiated emission and immunity tests, as defined by the relevant EMC product standards, can be at risk due to directly radiated magnetic fields into it. On the other hand, the failure of equipment complying with these standards can be neglected.

A.1.3 Mécanismes de couplage entre victime et source de dégradation

La victime des dégradations et son niveau d'immunité doivent être compatibles avec la source de danger. Pour cela, les mécanismes de couplage doivent être contrôlés de manière appropriée. Cela est réalisé par l'amélioration de zones de protection de foudre (ZPF).

A.2 Ecran spatial, cheminement et blindage des lignes

A.2.1 Généralités

Le champ magnétique dû aux coups de foudre directs ou proches des ZPF ne peut être réduit que par un écran spatial des ZPF. Ainsi, les chocs induits dans les réseaux de communication peuvent être minimisés soit par écran spatial, soit par cheminement et blindage ou par association des deux méthodes.

La Figure A.1 constitue un exemple d' IEMF en cas d'impact de foudre sur la structure et montre les zones de protection contre la foudre ZPF 0, ZPF 1 et ZPF 2. Les équipements informatiques (électroniques) sont situés dans la ZPF 2.

A.1.3 Coupling mechanisms between the victim and the source of harm

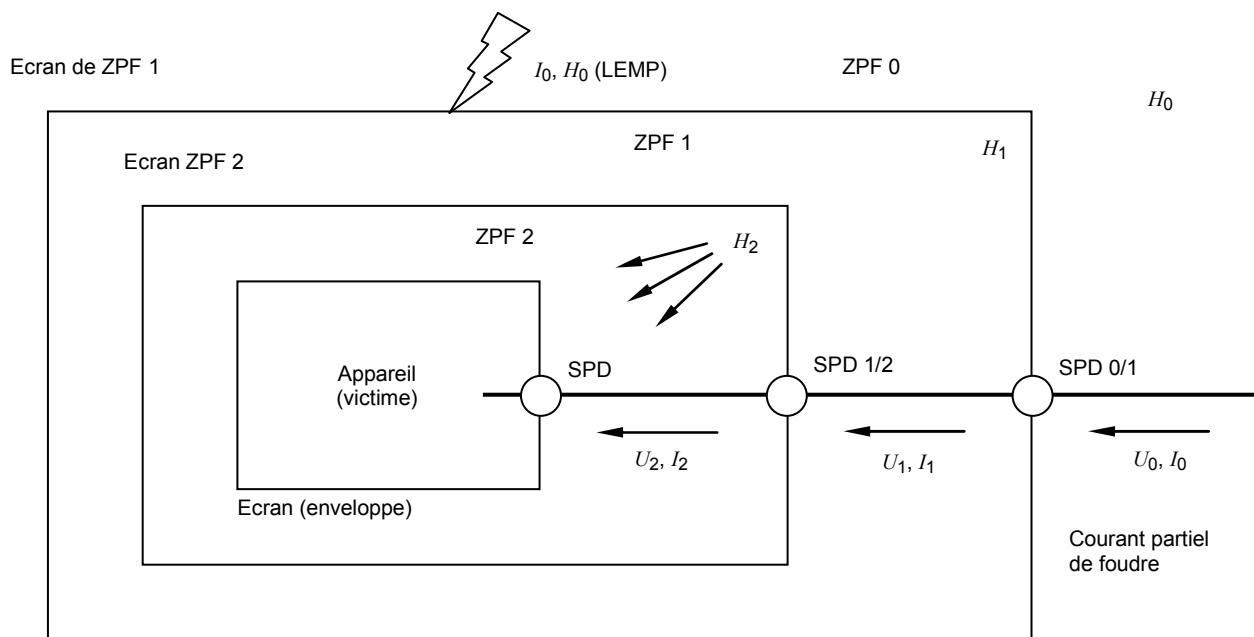
The equipment's withstand level needs to be compatible with the source of harm. To achieve this, the coupling mechanisms need to be adequately controlled by the appropriate creation of lightning protection zones (LPZ).

A.2 Spatial shielding, line routing and line shielding

A.2.1 General

The magnetic field caused inside an LPZ by lightning flashes to the structure or the nearby ground, may be reduced by spatial shielding of the LPZ only. Surges induced into the electronic system can be minimized either by spatial shielding, or by line routing and shielding, or by a combination of both methods.

Figure A.1 provides an example of the LEMP in the case of lightning flash to the structure showing the lightning protection zones LPZ 0, LPZ 1 and LPZ 2. The electronic system to be protected is installed inside LPZ 2.



IEC 2206/05

1. Source primaire de dégradation – IEMF

Définie à partir des paramètres des niveaux de protection de I à IV:

CEI 62305-1	I_0	choc 10/350 μ s (et 0,25/100 μ s)	200-150-100-100 kA
	H_0	choc 10/350 μ s (et 0,25/100 μ s)	issu de I_0

2. Tenue aux chocs de l'installation de puissance

Définie par la catégorie de surtension I à IV pour des tensions nominales 230/400 V et 277/480 V:

CEI 60664-1	U	catégorie de surtension I à IV	6 – 4 – 2,5 – 1,5 kV
-------------	-----	--------------------------------	----------------------

3. Tenue aux chocs des installations de communication

Recommandations UIT K.20 ou UIT K.21

4. Essais pour matériels sans normes appropriées de produits

Immunité des matériels (victimes)

Définie à partir de l'immunité contre les effets conduits de foudre (U, I)

CEI 61000-4-5	U_{OC}	choc 1,2/50 μ s	4 – 2 – 1 – 0,5 kV
	I_{SC}	choc 8/20 μ s	2 – 1 – 0,5 – 0,25 kA

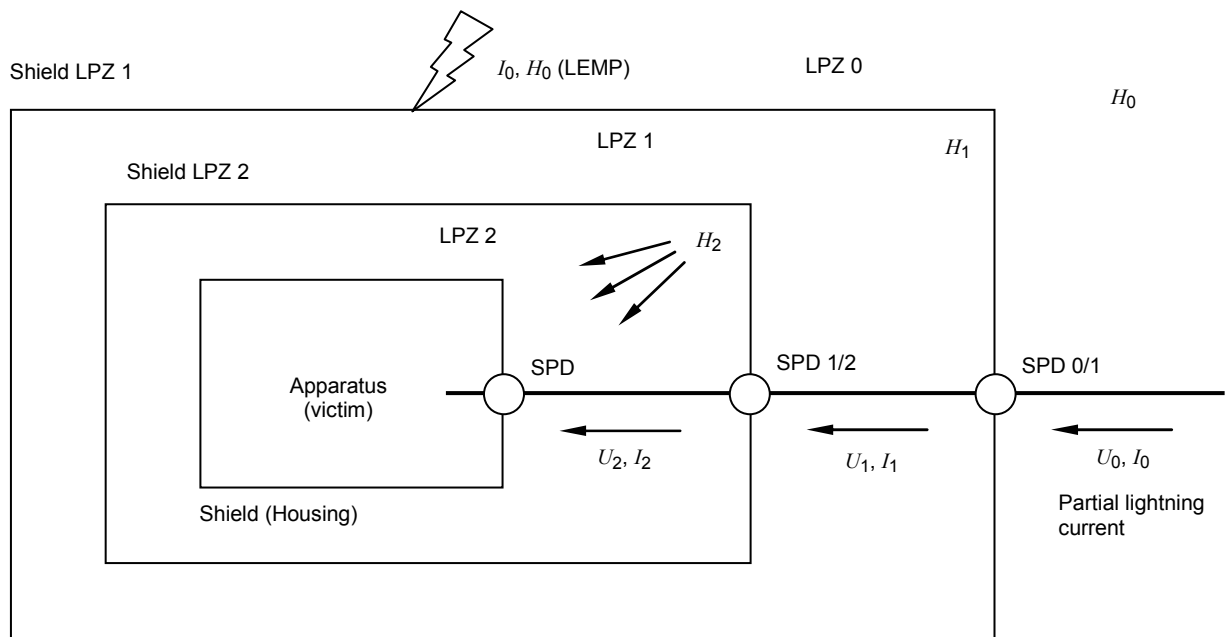
5. Essais pour matériels non conformes aux normes de produits CEM applicables

Immunité des matériels (victimes)

Définie à partir d'effets conduits de foudre rayonnés (H):

CEI 61000-4-9	H	choc 8/20 μ s, (oscillations amorties 25 kHz), $T_p = 10 \mu$ s	1 000 – 300 – 100 A/m
CEI 61000-4-10	H	choc 0,2/0,5 μ s, (oscillations amorties 1 MHz), $T_p = 0,25 \mu$ s	100 – 30 – 10 A/m

Figure A.1 – Situation de l'IEMF due à un impact de foudre



IEC 2206/05

1. Primary source of harm – LEMP

As defined from parameters according to LPL I to IV:

IEC 62305-1	I_0	impulse 10/350 μ s (and 0,25/100 μ s)	200-150-100-100 kA
	H_0	impulse 10/350 μ s (and 0,25/100 μ s)	derived from I_0

2. Withstand level of power installation

As defined for overvoltage category I to IV for nominal voltages 230/400 V and 277/480 V:

IEC 60664-1	U	overvoltage category I to IV	6 – 4 – 2,5 – 1,5 kV
-------------	-----	------------------------------	----------------------

3. Withstand level of telecommunication installation

ITU Recommendation K.20 or K.21

4. Tests for equipment without suitable product standards

Withstand level of apparatus (victim)

As defined for conducted (U, I) lightning effects:

IEC 61000-4-5	U_{OC}	impulse 1,2/50 μ s	4 – 2 – 1 – 0,5 kV
	I_{SC}	impulse 8/20 μ s	2 – 1 – 0,5 – 0,25 kA

5. Tests for equipment not complying with relevant EMC product standards

Withstand level of apparatus (victim)

As defined for radiated (H) lightning effects:

IEC 61000-4-9	H	impulse 8/20 μ s, (damped oscillation 25 kHz), $T_p = 10 \mu$ s	1 000 – 300 – 100 A/m
IEC 61000-4-10	H	impulse 0,2/0,5 μ s, (damped oscillation 1 MHz), $T_p = 0,25 \mu$ s	100 – 30 – 10 A/m

Figure A.1 – LEMP situation due to lightning flash

La source électromagnétique primaire de perturbations pour les matériels électroniques est le courant de foudre I_0 et le champ magnétique H_0 . Les courants de foudre partiels s'écoulent dans les services entrants. Ces courants et le champ magnétique ont la même forme d'onde. Le courant de foudre à prendre en compte est le courant du premier coup I_f (généralement avec une forme d'onde de longue queue de 10/350 μs) et les courants des coups consécutifs I_s (forme d'onde 0,25/100 μs). Le courant de premier coup I_f génère le champ magnétique H_f et les courants des coups consécutifs I_s génèrent le champ magnétique H_s .

Les effets d'induction magnétique sont essentiellement déterminés par l'élévation du champ magnétique. Comme indiqué à la Figure A.2, le temps de montée de H_f peut être caractérisé par un champ oscillant amorti de 25 kHz avec une valeur maximale de $H_{f/\text{max}}$ et une durée jusqu'à la valeur maximale $T_{p/f}$ de 10 μs . De même, le temps de montée de H_s peut être caractérisé par un champ oscillatoire amorti de 1 MHz avec une valeur maximale de $H_{s/\text{max}}$ et une durée jusqu'à la valeur maximale $T_{p/s}$ de 0,25 μs .

Ainsi, les effets d'induction du champ magnétique du premier impact peuvent être caractérisés par une fréquence typique de 25 kHz et le champ magnétique des impacts consécutifs peut être caractérisé par une fréquence typique de 1 MHz. Les champs oscillatoires amortis pour ces fréquences sont définis pour des essais dans la CEI 61000-4-9 et dans la CEI 61000-4-10.

En installant des écrans magnétiques et des parafoudres aux interfaces des ZPF, les effets de la foudre définis par I_0 et H_0 sont réduits jusqu'au niveau d'immunité de la victime. Comme indiqué à la Figure A.1, la victime doit résister au champ magnétique environnant H_2 et aux effets conduits de foudre I_2 et U_2 .

La réduction de I_1 à I_2 et des tensions résultantes U_1 et U_2 sont traitées dans l'Annexe C. La réduction de H_0 à une valeur suffisamment faible de H_2 est traitée comme suit.

Dans le cas des écrans spatiaux en grille, il est supposé que la forme d'onde du champ magnétique dans les ZPF (H_1 , H_2) est la même qu'à l'extérieur (H_0).

La Figure A.2 montre les formes d'ondes atténuées d'oscillation des essais définis dans la CEI 61000-4-9 et dans la CEI 61000-4-10 et peut être utilisée pour déterminer la tenue des matériels aux champs magnétiques créés par l'élévation du champ magnétique lors du premier impact H_f et des impacts consécutifs H_s .

Il convient que les chocs induits dus au champ magnétique couplé à la boucle d'induction (voir l'Article A.4) soient inférieurs ou égaux à la tenue du matériel.

The primary electromagnetic source of harm to the electronic system is the lightning current I_0 and the magnetic field H_0 . Partial lightning currents flow on the incoming services. These currents as well as the magnetic fields have the same waveshape. The lightning current to be considered here consists of a first stroke I_f (typically with a long tail 10/350 μs waveshape) and subsequent strokes I_s (0,25/100 μs waveshape). The current of the first stroke I_f generates the magnetic field H_f and the currents of the subsequent strokes I_s generate the magnetic fields H_s .

The magnetic induction effects are mainly caused by the rising front of the magnetic field. As shown in Figure A.2, the rising front of H_f can be characterized by a damped oscillating field of 25 kHz with maximum value $H_{f/\text{max}}$ and time to maximum value $T_{p/f}$ of 10 μs . In the same way, the rising front of H_s can be characterized by a damped oscillating field of 1 MHz with maximum value $H_{s/\text{max}}$ and time to maximum value $T_{p/s}$ of 0,25 μs .

It follows that the magnetic field of the first stroke can be characterized by a typical frequency of 25 kHz and the magnetic field of the subsequent strokes can be characterized by a typical frequency of 1 MHz. Damped oscillating magnetic fields of these frequencies are defined for test purposes in IEC 61000-4-9 and IEC 61000-4-10.

By installing magnetic shields and SPDs at the interfaces of the LPZs, the effect of the unattenuated lightning defined by I_0 and H_0 , is reduced to the withstand level of the victim. As shown in Figure A.1, the victim shall withstand the surrounding magnetic field H_2 and the conducted lightning currents I_2 and voltages U_2 .

The reduction of I_1 to I_2 and of U_1 to U_2 is the subject of Annex C, whereas the reduction of H_0 to a sufficiently low value of H_2 is considered here as follows:

In the case of a grid-like spatial shield, it may be assumed that the waveshape of the magnetic field inside the LPZs (H_1 , H_2) is the same as the waveshape of the magnetic field outside (H_0).

The damped oscillating waveforms shown in Figure A.2 comply with the tests defined in IEC 61000-4-9 and IEC 61000-4-10 and can be used to determine the equipment's withstand level to magnetic fields created by the rise of the magnetic field of the first stroke H_f and of the subsequent strokes H_s .

The induced surges caused by the magnetic field coupled into the induction loop (see Clause A.4), should be lower than, or equal to, the equipment's withstand level.

Norme fondamentale: CEI 61000-4-9

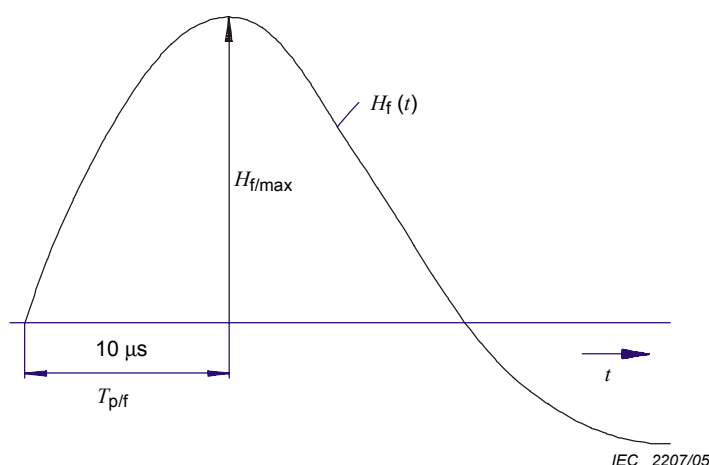


Figure A.2a – Simulation de l'élévation du champ magnétique dû à un premier choc (10/350 μs) par une seule impulsion 8/20 μs (oscillations amorties à 25 kHz)

Norme fondamentale: CEI 61000-4-10

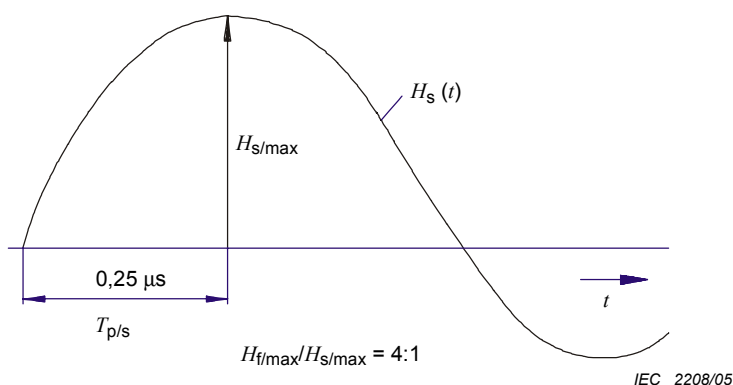


Figure A.2b – Simulation de l'élévation du champ magnétique dû à un coup consécutif (0,25/100 μs) par des oscillations amorties de 1 MHz (chocs multiples 0,2/0,5 μs)

NOTE 1 Bien que les définitions du temps jusqu'à la valeur maximale T_p et du temps de montée T_1 soient différentes, leurs valeurs numériques sont prises égales à celles données ici pour une approche appropriée.

NOTE 2 Le rapport des valeurs maximales est $H_{f(max)} / H_{s(max)} = 4:1$.

Figure A.2 – Simulation de l'élévation du champ magnétique dû à des oscillations amorties

A.2.2 Ecrans spatiaux en grille

En pratique, les écrans à large volume des ZPF sont constitués de composants normaux de la structure tels que supports ou ossatures métalliques des plafonds, murs et planchers, armatures du béton, toits ou façades métalliques. Ces composants constituent un écran spatial en grille. Un écran efficace requiert généralement des dimensions de mailles inférieures à 5 m.

NOTE 1 Ainsi, l'effet d'écran peut être négligeable si une ZPF1 est créée par une extension normale de ZPF conformément à la CEI 62305-3 avec des dimensions de mailles supérieures à 5 m. Un bâtiment avec des ossatures métalliques et des structures en acier assure un effet d'écran de grande portée.

NOTE 2 Des écrans dans les ZPF consécutives peuvent être réalisés soit par des mesures d'écran spatial de l'ensemble soit par des tiroirs ou armoires métalliques fermés ou par les couvertures métalliques de l'appareil.

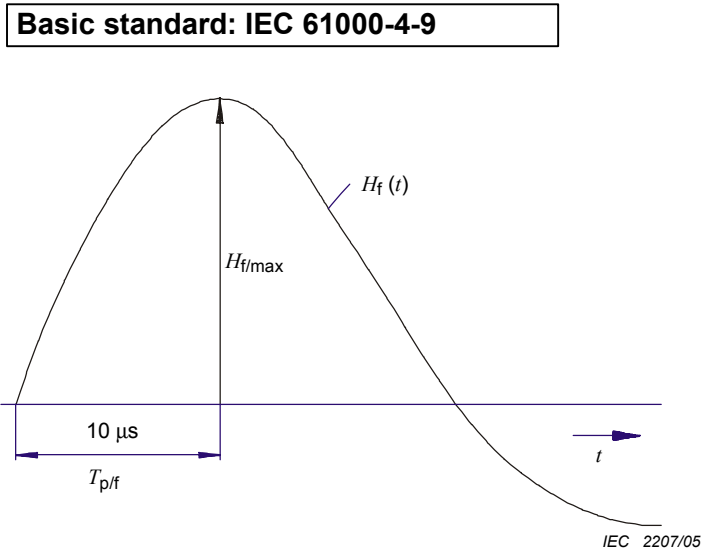


Figure A.2a – Simulation of the rise of the field of the first stroke (10/350 μ s) by a single impulse 8/20 μ s (damped 25 kHz oscillation)

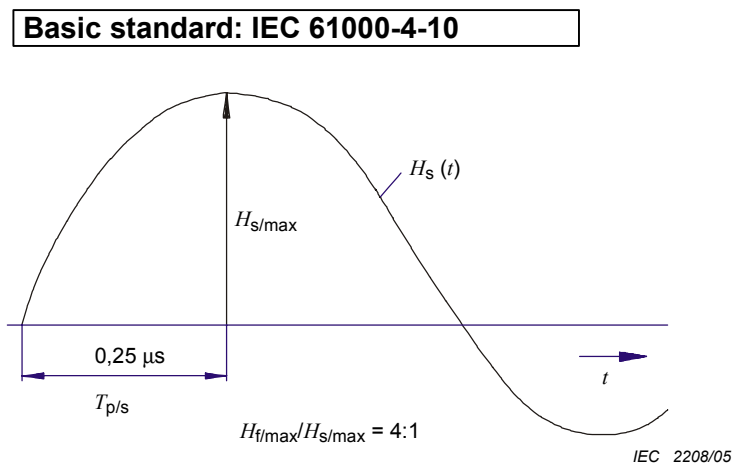


Figure A.2b – Simulation of the rise of the field of the subsequent stroke (0,25/100 μ s) by damped 1 MHz oscillations (multiple impulses 0,2/0,5 μ s)

NOTE 1 Although the definitions of the time to the maximum value T_p and the front time T_1 are different, for a suitable approach their numerical values are taken as equal here.

NOTE 2 The ratio of the maximum values $H_{f/\max} / H_{s/\max} = 4:1$.

Figure A.2 – Simulation of the rise of magnetic field by damped oscillations

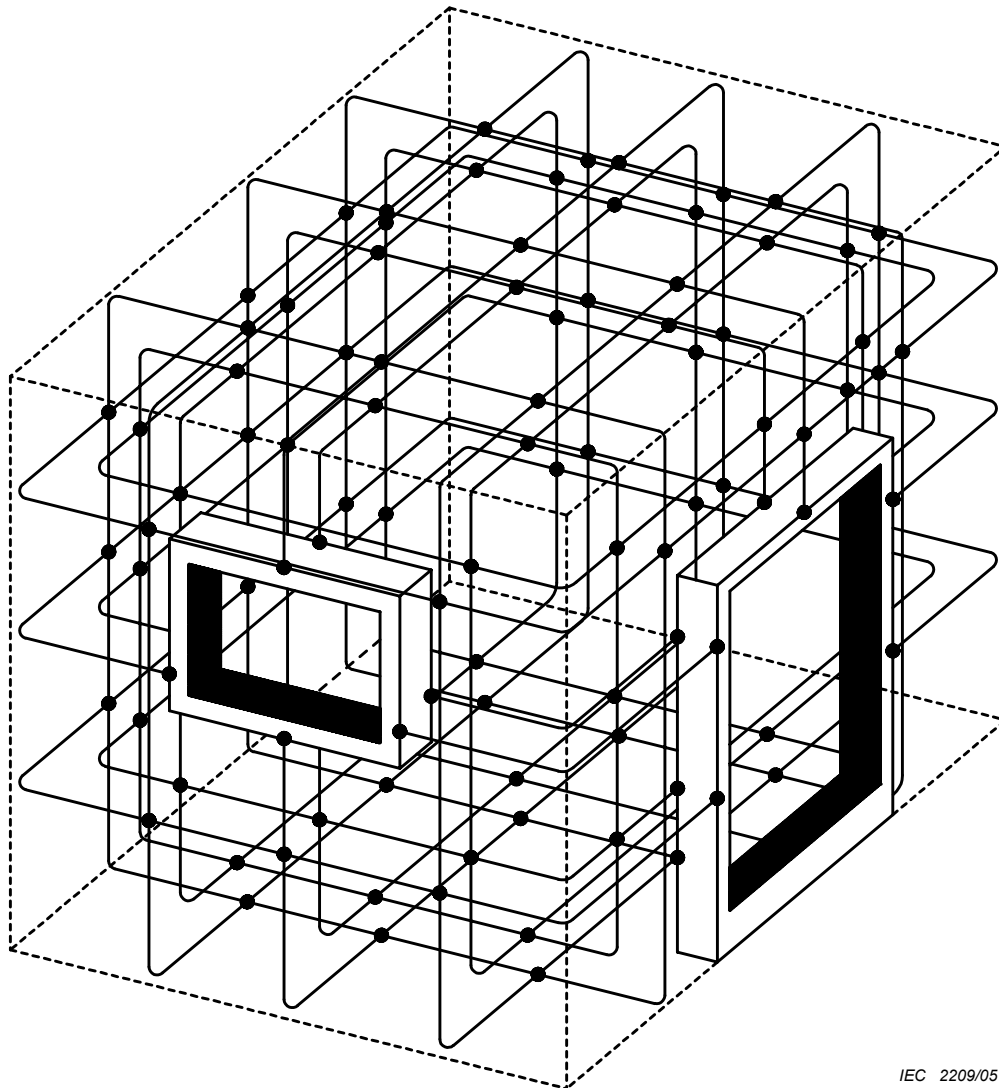
A.2.2 Grid-like spatial shields

In practice, the large volume shields of LPZs are usually created by natural components of the structure such as the metal reinforcement in the ceilings, walls and floors, the metal framework, the metal roofs and metal facades. These components together create a grid-like spatial shield. Effective shielding requires that the mesh width be typically less than 5 m.

NOTE 1 The shielding effect may be neglected if an LPZ 1 is created by a normal external LPS according to IEC 62305-3 with mesh widths and typical distances greater than 5 m. Otherwise a large steel frame building with many structural steel stanchions provides a significant shielding effect.

NOTE 2 Shielding in subsequent inner LPZs can be accomplished either by adopting spatial shielding measures, by using closed metal racks or cabinets, or by using the metal enclosure of the equipment.

La Figure A.3 montre comment, en principe, les armatures du béton et les ossatures métalliques (pour des portes métalliques et d'éventuelles fenêtres écrantées) peuvent constituer un écran à large volume pour un bâtiment ou une pièce.



IEC 2209/05

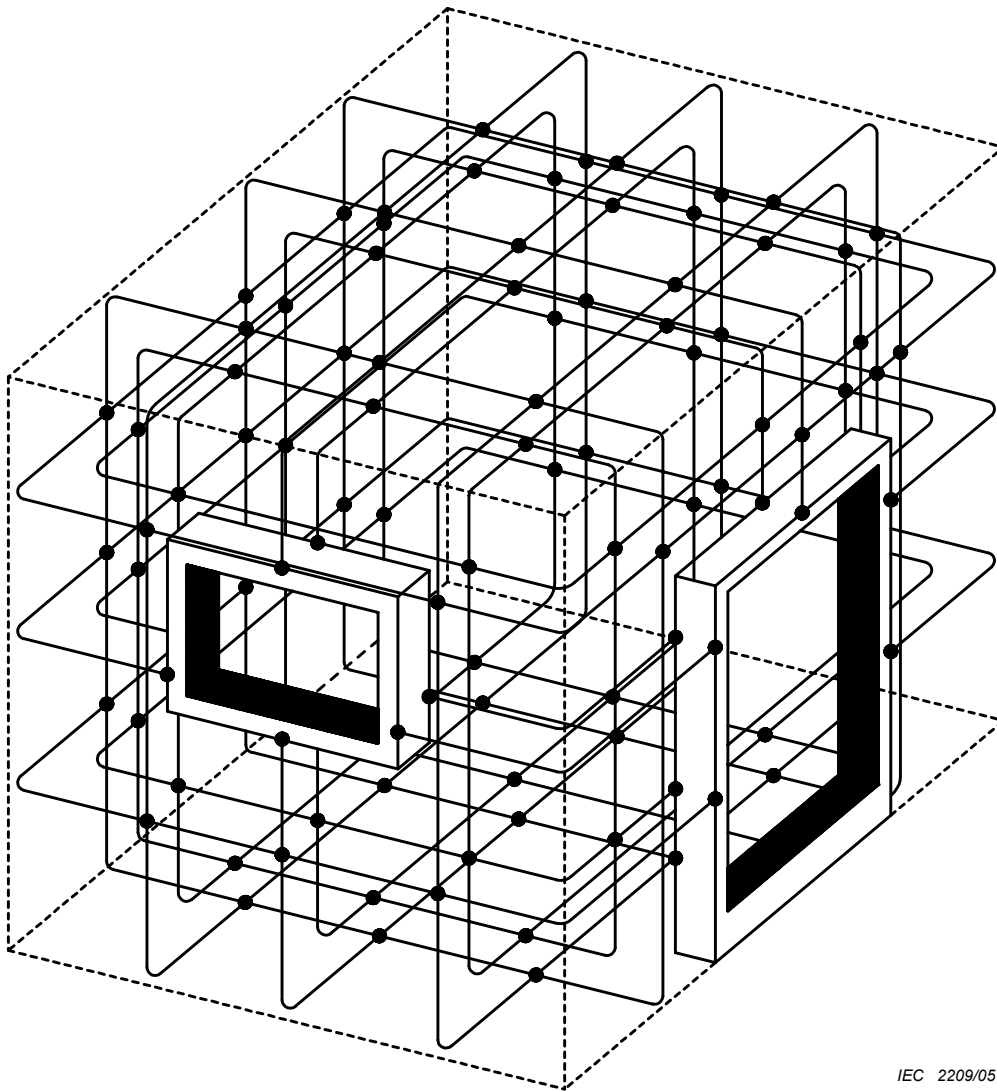
- Soudées ou fixées sur chaque tige et aux croisements.

NOTE En pratique, il n'est pas possible, pour des structures étendues, de réaliser une soudure ou une fixation en chaque point. Toutefois, la plupart des points sont naturellement interconnectés par des rapprochements renforcés ou par des ligatures. Une approche pratique pourrait être de réaliser une connexion environ tous les 1 m.

Figure A.3 – Ecran à large volume réalisé par armatures et ossatures métalliques

Les réseaux électroniques ne peuvent être mis en œuvre que dans des «volumes sûrs» en respectant les distances de sécurité vis-à-vis de l'écran de la ZPF (voir Figure A.4). Cela est dû aux valeurs relativement élevées du champ magnétique à proximité de l'écran engendré par l'écoulement du courant de foudre partiel dans l'écran (particulièrement dans une ZPF 1).

Figure A.3 shows how in practice the metal reinforcement in concrete and metal frames (for metal doors and possibly shielded windows) can be used to create a large volume shield for a room or building.



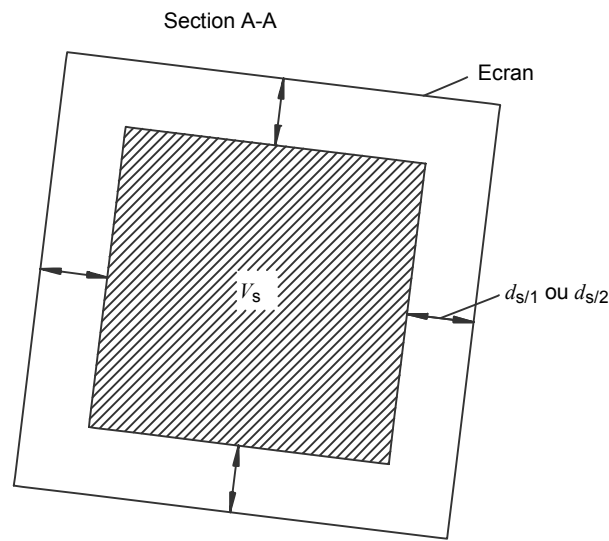
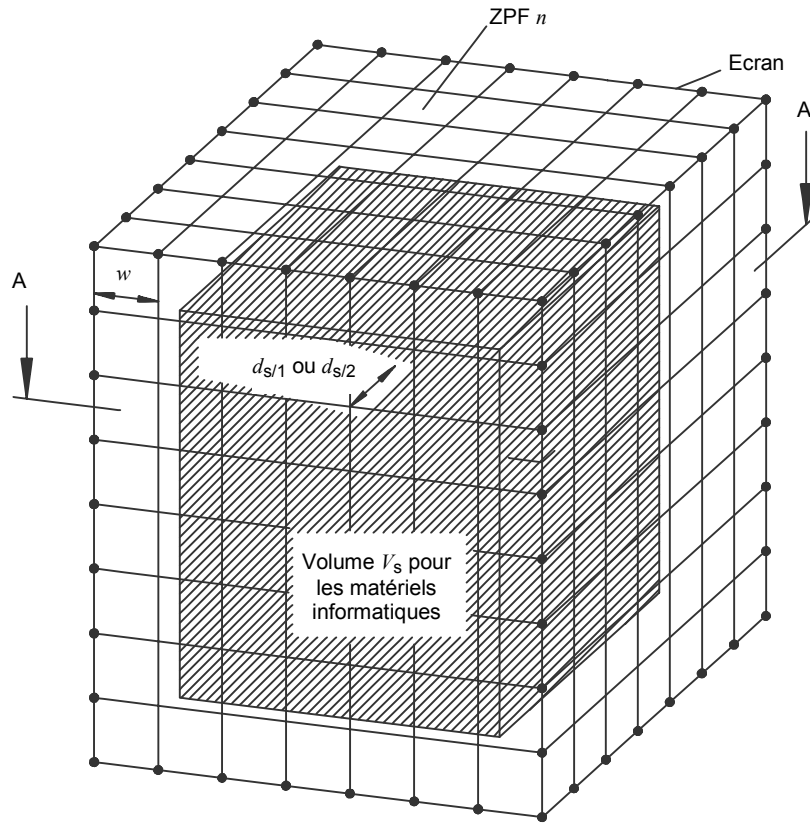
IEC 2209/05

- Welded or clamped at every rod and at the crossings.

NOTE In practice, it is not possible for extended structures to be welded or clamped at every point. However, most of the points are naturally connected by direct contacts or by additional wiring. A practical approach therefore could be a connection at about every 1 m.

Figure A.3 – Large volume shield built by metal reinforcement and metal frames

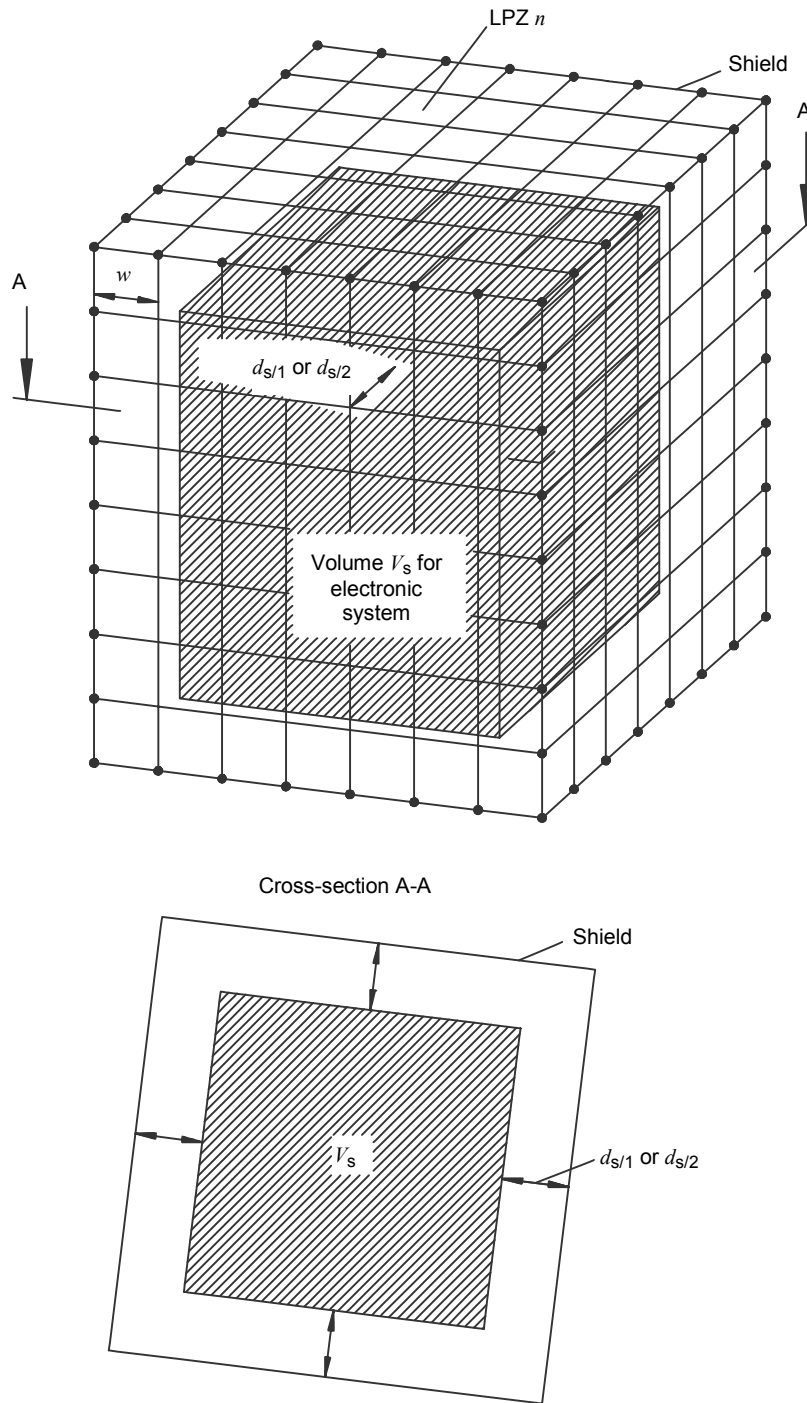
Electronic systems shall be located inside a “safety volume” which respects a safety distance from the shield of the LPZ (see Figure A.4). This is because of the relatively high magnetic fields close to the shield, due to partial lightning currents flowing in the shield (particularly for LPZ 1).



IEC 2210/05

NOTE Le volume V_s pour la mise en place des matériels informatiques conserve une distance de sécurité $d_{s/1}$ ou $d_{s/2}$ par rapport à l'écran de ZPF n .

Figure A.4 – Volume pour les réseaux de puissance et de communication d'une ZPF n intérieure



IEC 2210/05

NOTE The volume V_s keeps a safety distance $d_{s/1}$ or $d_{s/2}$ from the shield of LPZ n.

Figure A.4 – Volume for electrical and electronic systems inside an inner LPZ n

A.2.3 Cheminement et blindage des lignes

Les chocs induits dans les réseaux de puissance et de communication peuvent être réduits par des cheminements appropriés (diminuant les surfaces de boucle d'induction) ou par utilisation de câbles écrantés ou de conduits métalliques (diminuant les effets inductifs internes), ou une association des deux (voir Figure 5).

Il est recommandé que les câbles conducteurs connectés aux réseaux de puissance de communication soient aussi proches que possible des composants métalliques du réseau équipotentiel. Il est recommandé d'utiliser pour ces câbles les conduits métalliques du réseau équipotentiel, par exemple des conduits en U ou réseaux métalliques (voir aussi la CEI 61000-5-2).

A proximité de l'écran des ZPF (particulièrement la ZPF 1), il convient de porter une attention particulière à la mise en œuvre des lignes et câbles en raison de la valeur élevée du champ magnétique.

Si des lignes entre les structures séparées doivent être protégées, elles seront dans des conduits métalliques reliés à la terre à leurs deux extrémités aux barres de terre des structures séparées. Si les écrans des câbles (reliés à la terre) peuvent supporter le courant partiel de foudre présumé, des conduits métalliques additionnels ne sont pas nécessaires.

Les tensions et courants induits dans les boucles de l'installation conduisent à des chocs conduits (en mode commun) pour le réseau électronique. Pour le calcul de ces tensions et courants induits, voir l'Article A.4.

La Figure A.6 donne un exemple d'un grand immeuble de bureaux:

- L'écran est réalisé pour la ZPF 1 par des armatures en acier et des façades métalliques et, pour les équipements électroniques sensibles dans la ZPF 2, par des enveloppes blindées. Afin de réaliser un réseau maillé serré, plusieurs connexions sont prévues dans chaque local.
- La ZPF 0 est étendue à la ZPF 1 enveloppant l'alimentation de 20 kV est prévue. Cela est un cas particulier où l'installation de parafoudres immédiatement à l'entrée du réseau haute tension n'est pas possible.

A.2.3 Line routing and line shielding

Surges induced into the electronic systems can be reduced by suitable line routing (minimizing the induction loop area) or by using shielded cables or metallic cable ducts (minimizing the induction effects inside), or a combination of both (see Figure 5).

The conductive cables connected to electronic systems should be routed as close to the metal components of the bonding network as possible. It is beneficial to run these cables in metal enclosures of the bonding network, for example U-shaped conduits or metal trunking (see also IEC 61000-5-2).

Particular attention should be paid when installing cables close to the shield of an LPZ (especially LPZ 1) due to the substantial value of the magnetic fields at that location.

When cables, which run between separate structures, need to be protected, they should be run in metal cable ducts. These ducts should be bonded at both ends to the bonding bars of the separate structures. If the cable shields (bonded at both ends) are able to carry the anticipated partial lightning current, additional metal cable ducts are not required.

Voltages and currents induced into loops, formed by installations, result in common mode surges at the electronic systems. Calculations of these induced voltages and currents are described in Clause A.4.

Figure A.6 provides an example of a large office building:

- Shielding is achieved by steel reinforcement and metal facades for LPZ 1, and by shielded enclosures for the sensitive electronic systems in LPZ 2. To be able to install a narrow meshed bonding system, several bonding terminals are provided in each room.
- LPZ 0 is extended into LPZ 1 to house a power supply of 20 kV, because the installation of SPDs on the high voltage power side immediately at the entrance was not possible in this special case.

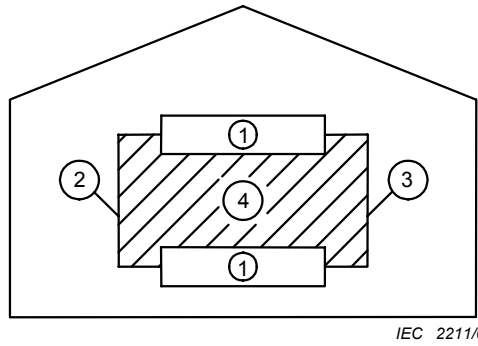


Figure A.5a – Système non protégé

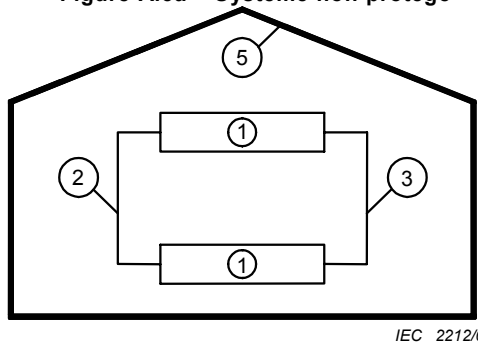


Figure A.5b – Réduction du champ magnétique dans une ZPF intérieure par écran spatial

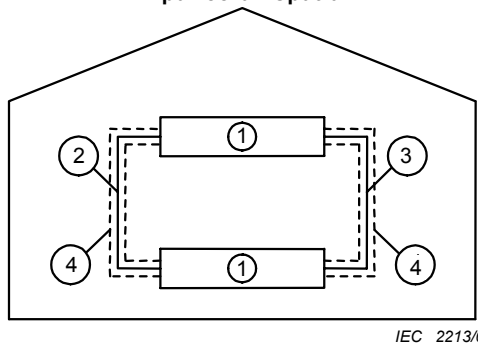


Figure A.5c – Réduction de l'influence du champ sur les lignes par écran

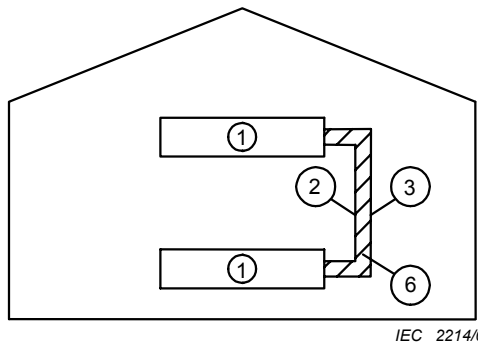
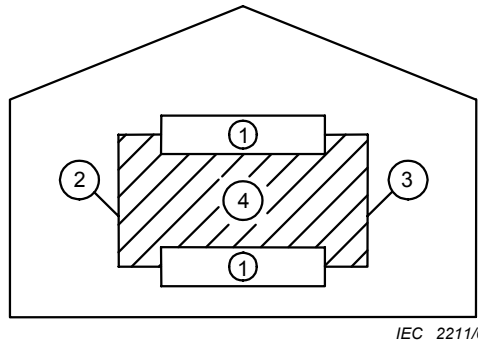


Figure A.5d – Réduction de la surface de la boucle d'induction par cheminement approprié

Légende

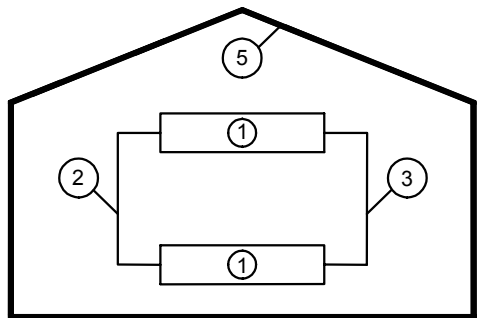
- | | | | |
|---|--------------------------------------|---|---------------------------|
| 1 | Dispositif sous enveloppe métallique | 4 | Boucle d'induction |
| 2 | Ligne de puissance | 5 | Ecrans spatiaux externes |
| 3 | Ligne de communication | 6 | Ecran métallique de ligne |

Figure A.5 – Réduction des effets d'induction par des dispositions de cheminement et d'écran



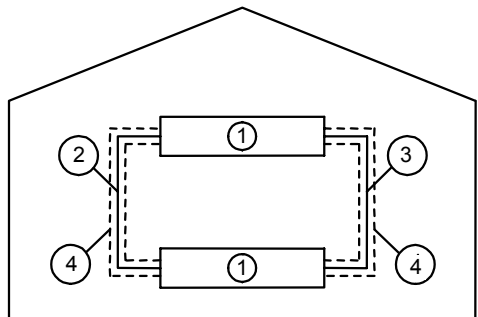
IEC 2211/05

Figure A.5a – Unprotected system



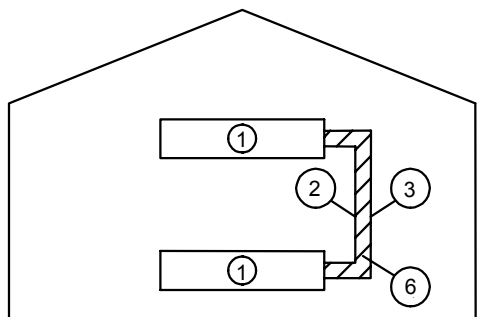
IEC 2212/05

Figure A.5b – Reducing the magnetic field inside an inner LPZ by its spatial shield



IEC 2213/05

Figure A.5c – Reducing the influence of the field on lines by line shielding



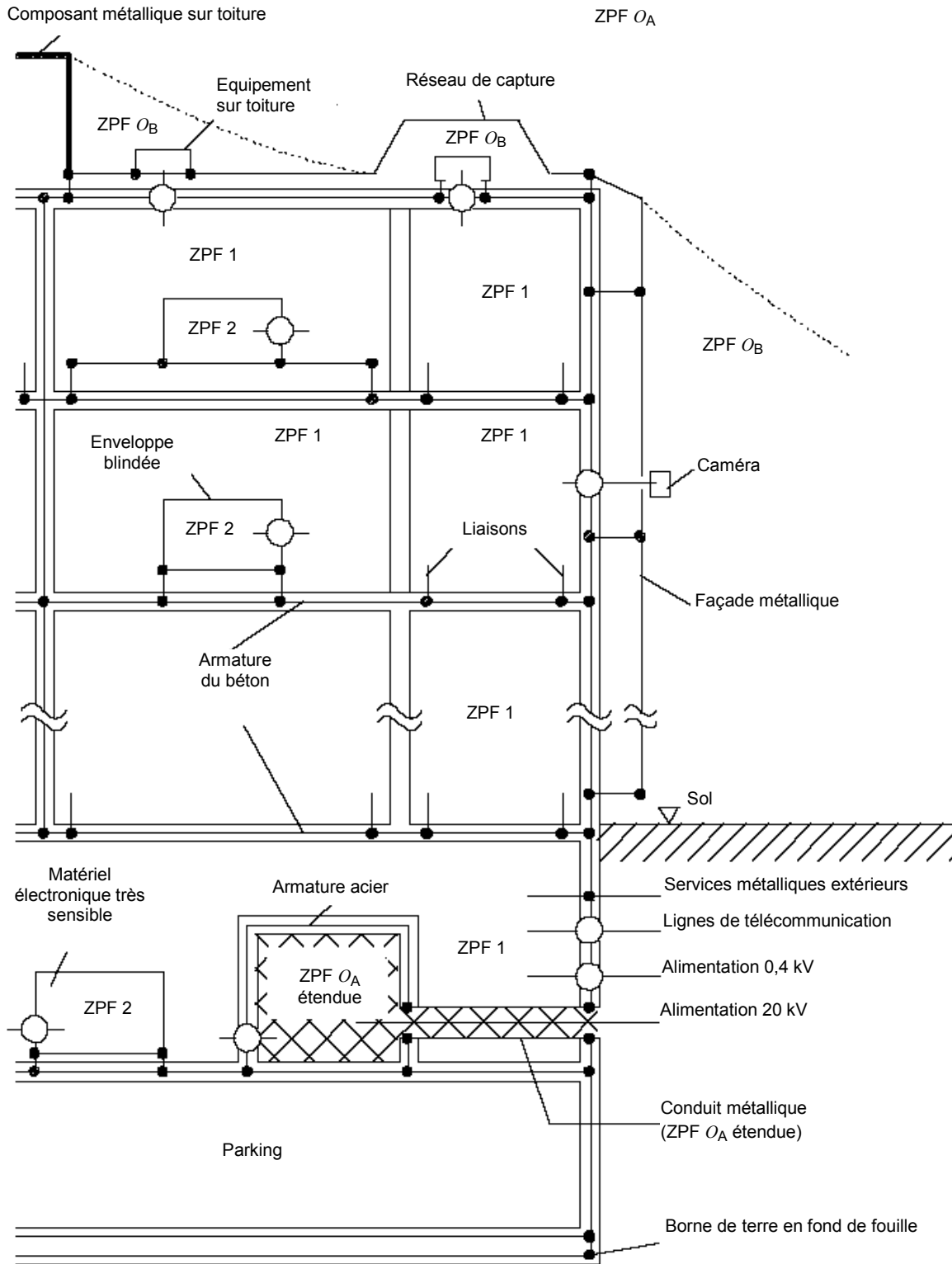
IEC 2214/05

Figure A.5d – Reducing the induction loop area by suitable line routing

Key

- | | | | |
|---|-------------------------|---|----------------------------|
| 1 | Device in metal housing | 4 | Induction loop |
| 2 | Power line | 5 | External spatial shielding |
| 3 | Data line | 6 | Metallic shield of line |

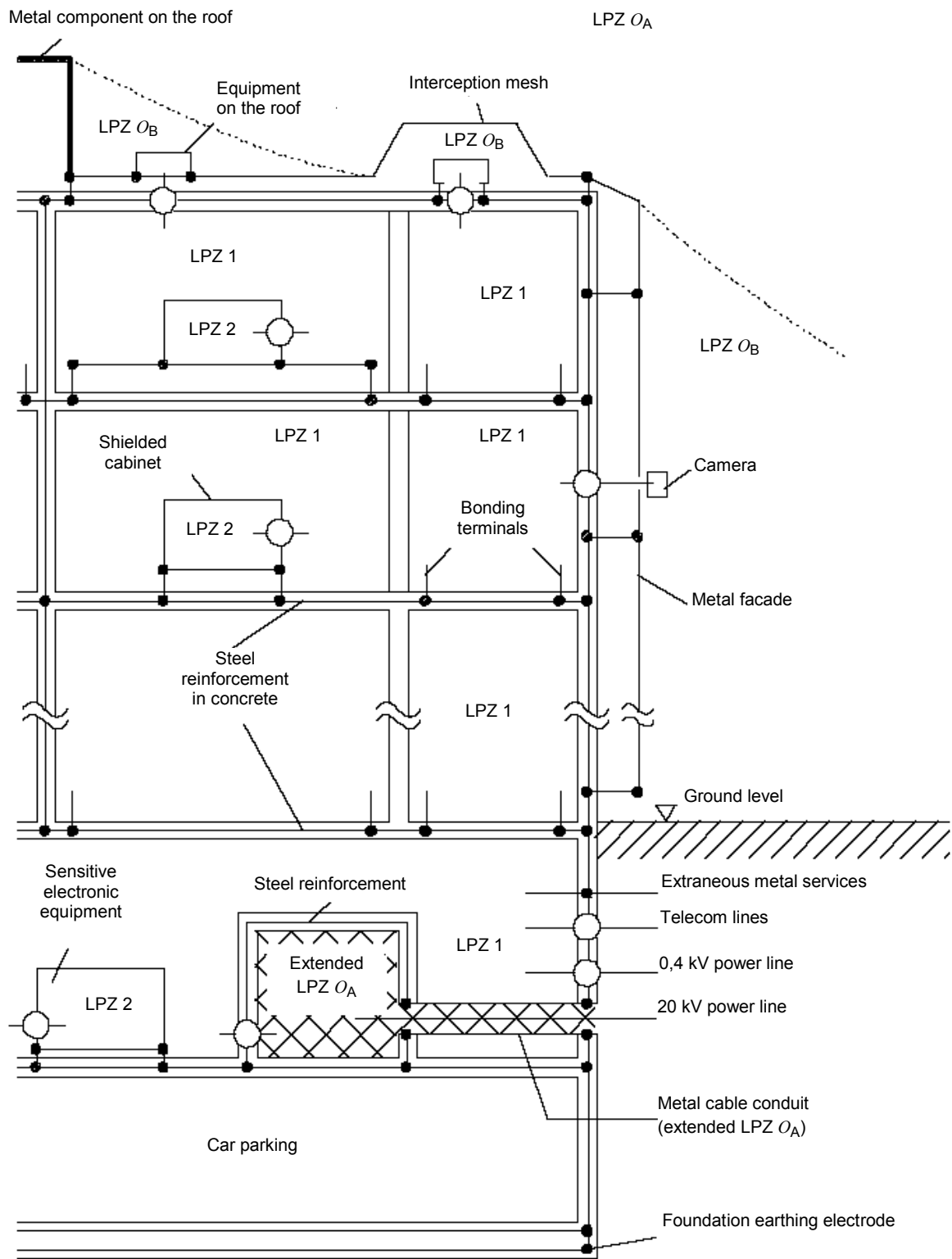
Figure A.5 – Reducing induction effects by line routing and shielding measures



IEC 2215/05

- Liaison équipotentielle
- Parafoudre

Figure A.6 – Exemple de SMPI d'un immeuble de bureaux



IEC 2215/05

- Equipotential bonding
- Surge protective device (SPD)

Figure A.6 – Example of an LPMS for an office building

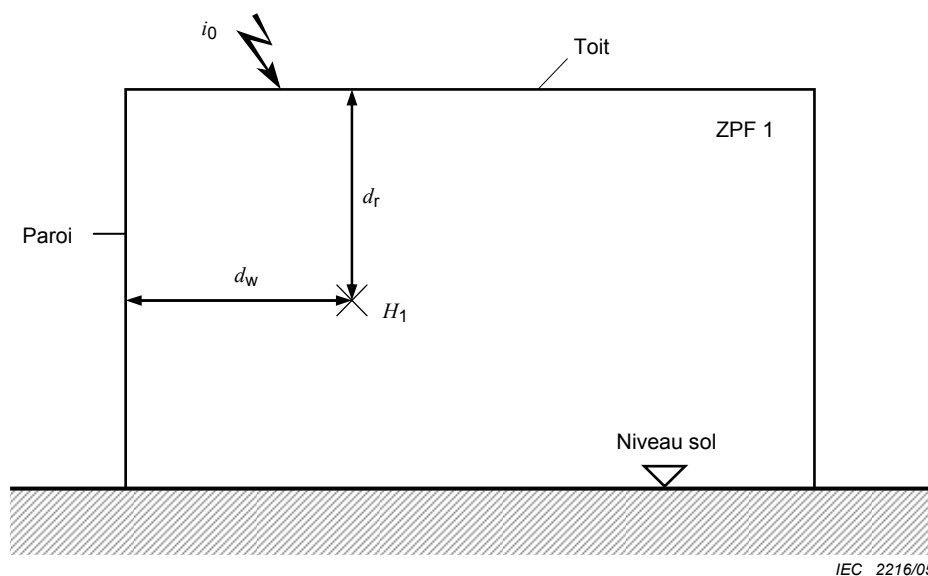
A.3 Champs magnétiques dans les ZPF

A.3.1 Approximation du champ magnétique dans les ZPF

Si une étude théorique (voir A.3.2) ou expérimentale (voir A.3.3) de l'efficacité du blindage n'est pas effectuée, l'atténuation doit être calculée comme suit.

A.3.1.1 Ecrans spatiaux en grille de ZPF 1 en cas de coup de foudre direct

L'écran d'un bâtiment (entourant une ZPF 1) peut être une partie du SPF et donc écouler des courants de foudre en cas de coup de foudre direct. La Figure A.7a montre une telle situation en supposant que la foudre peut atteindre la structure en un point arbitraire de la toiture.



Intérieur de la ZPF 1 $H_1 = k_H \cdot i_0 \cdot w_1 / (d_w \cdot \sqrt{d_r})$

NOTE Les distances d_w et d_r sont déterminées pour le point considéré.

Figure A.7a – Champ magnétique dans une ZPF 1

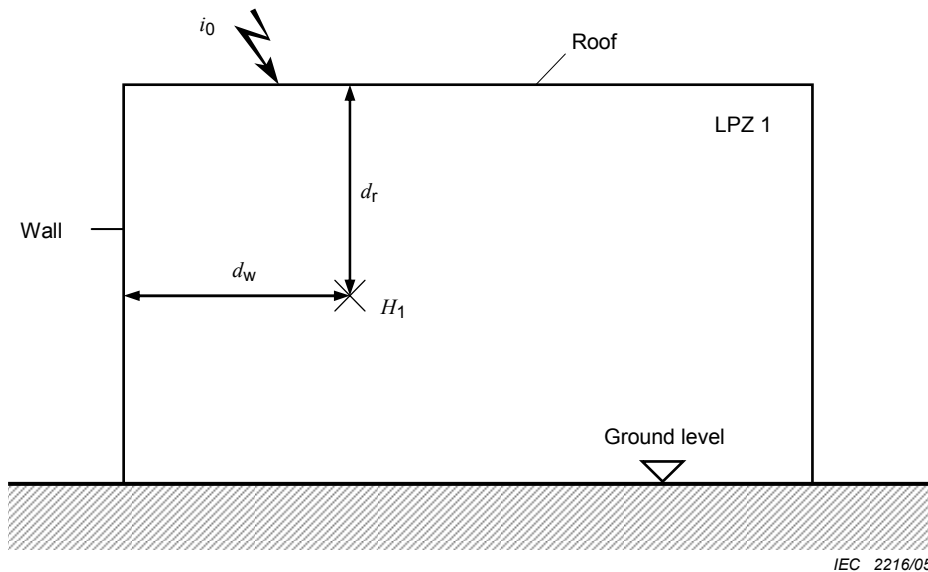
A.3 Magnetic field inside LPZs

A.3.1 Approximation for the magnetic field inside LPZs

If a theoretical (see A.3.2), or experimental (see A.3.3), investigation of the shielding effectiveness is not performed, the attenuation shall be evaluated as follows.

A.3.1.1 Grid-like spatial shield of LPZ 1 in the case of a direct lightning flash

The shield of a building (shield surrounding LPZ 1) can be part of the external LPS and currents due to direct lightning flashes will flow along it. This situation is depicted by Figure A.7a assuming that the lightning hits the structure at an arbitrary point of the roof.

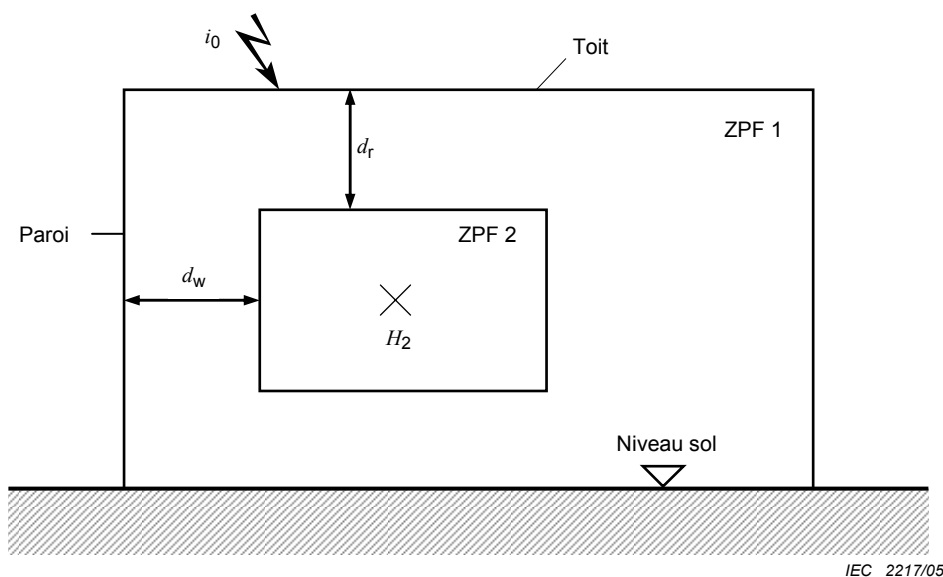


IEC 2216/05

$$\text{Inside LPZ 1} \quad H_1 = k_H \cdot i_0 \cdot w_1 / (d_w \cdot \sqrt{d_r})$$

NOTE Distances d_w and d_r are determined for the point considered.

Figure A.7a – Magnetic field inside LPZ 1



NOTE Les distances d_w et d_r sont déterminées pour la frontière de la ZPF 2.

$$\text{Intérieur de la ZPF 2} \quad H_2 = H_1 / 10^{SF_2/20}$$

Figure A.7b – Champ magnétique dans la ZPF 2

Figure A.7 – Evaluation du champ magnétique en cas de coup de foudre direct

La force du champ magnétique H_1 en un point arbitraire dans le volume de la ZPF 1, est:

$$H_1 = k_H \cdot i_0 \cdot w / (d_w \cdot \sqrt{d_r}) \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.1})$$

où

d_r est la distance la plus courte, en mètres, entre le point considéré et la partie supérieure de l'écran de la ZPF 1;

d_w est la distance la plus courte, en mètres, entre le point considéré et la paroi de l'écran de la ZPF 1;

i_0 est le courant de foudre dans la ZPF 0_A, en A;

k_H est le facteur de configuration ($1/\sqrt{m}$), généralement $k_H = 0,01 (1/\sqrt{m})$;

w est la taille de maille de l'écran en grille de la ZPF 1, en m.

Le résultat de cette formule donne la valeur maximale du champ magnétique dans la ZPF 1 (prendre en compte la Note ci-après):

– dû au premier impact: $H_{1/f/\max} = k_H \cdot i_{f/\max} \cdot w / (d_w \cdot \sqrt{d_r}) \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.2})$

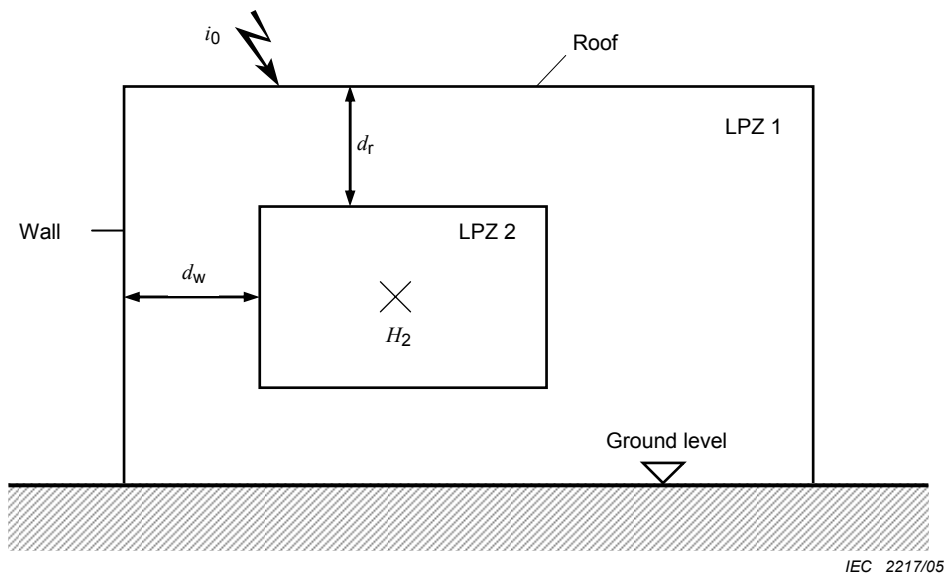
– dû aux impacts consécutifs: $H_{1/s/\max} = k_H \cdot i_{s/\max} \cdot w / (d_w \cdot \sqrt{d_r}) \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.3})$

où

$i_{f/\max}$ est la valeur maximale du courant, de premier impact, en ampères, choisi conformément au niveau de protection;

$i_{s/\max}$ est la valeur maximale du courant des impacts consécutifs, en ampères, choisi conformément au niveau de protection.

NOTE Le champ est réduit d'un facteur 2 en cas de réseau équipotentiel maillé conformément à 5.2.



Inside LPZ 2

$$H_2 = H_1 / 10 \text{ SF}_2/20$$

NOTE Distances d_w and d_r are determined for the boundary of LPZ 2.

Figure A.7b – Magnetic field inside LPZ 2

Figure A.7 – Evaluation of the magnetic field values in case of a direct lightning flash

For the magnetic field strength H_1 at an arbitrary point inside LPZ 1, the following formula applies:

$$H_1 = k_H \cdot i_0 \cdot w / (d_w \cdot \sqrt{d_r}) \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.1})$$

where

d_r is the shortest distance, in metres, between the point considered and the roof of shielded LPZ 1;

d_w is the shortest distance, in metres, between the point considered to the wall of shielded LPZ 1;

i_0 is the lightning current in LPZ 0_A in A;

k_H is the configuration factor, (1/√m), typically $k_H = 0,01$ (1/√m);

w is the mesh width of the grid-like shield of LPZ 1, in m.

The result of this formula is the maximum value of the magnetic field in LPZ 1 (taking the Note below into account):

$$- \text{caused by the first stroke: } H_{1/f/\max} = k_H \cdot i_{f/\max} \cdot w / (d_w \cdot \sqrt{d_r}) \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.2})$$

$$- \text{caused by the subsequent strokes: } H_{1/s/\max} = k_H \cdot i_{s/\max} \cdot w / (d_w \cdot \sqrt{d_r}) \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.3})$$

where

$i_{f/\max}$ is the maximum value, in amperes, of the first stroke current according to the protection level;

$i_{s/\max}$ is the maximum value, in amperes, of the subsequent stroke currents according to the protection level.

NOTE The field is reduced by a factor of 2, if a meshed bonding network according to 5.2 is installed.

Les valeurs du champ magnétique sont valables pour les volumes V_s dans les écrans en grille définis par la distance de sécurité $d_{s/1}$ depuis l'écran (voir Figure A.4):

$$d_{s/1} = w \quad (\text{m}) \tag{A.4}$$

EXEMPLES

Comme exemple, trois écrans spatiaux en cuivre dont les dimensions sont indiquées au Tableau A.1, et ayant une taille de maille de $w = 2$ m (voir Figure A.10) sont étudiés. Les résultats donnent une distance de sécurité $d_{s/1} = 2,0$ m, définissant un volume de sécurité V_s . Les valeurs pour $H_{1/\text{max}}$ valables dans le volume V_s sont calculées pour $i_{0/\text{max}} = 100$ kA et indiquées dans le Tableau A.1. La distance jusqu'au toit est la moitié de la hauteur: $d_r = H/2$. La distance à la paroi est la moitié de la longueur: $d_w = L/2$ (centre) ou égale à: $d_w = d_{s/1}$ (cas le plus défavorable à proximité de la paroi).

Tableau A.1 – Exemples pour $i_{0/\text{max}} = 100$ kA et $w = 2$ m

Type d'écran (voir Figure A.10)	$L \times W \times H$ m	$H_{1/\text{max}}$ (centre) A/m	$H_{1/\text{max}} (d_w = d_{s/1})$ A/m
1	10 × 10 × 10	179	447
2	50 × 50 × 10	36	447
3	10 × 10 × 50	80	200

A.3.1.2 Ecrans spatiaux en grille de la ZPF 1 en cas de coup de foudre proche

Dans le cas d'un coup de foudre proche, la situation est présentée à la Figure A.8. Le champ magnétique incident dans la ZPF 1 peut être assimilé à une onde plane.

These values of magnetic field are valid only for a safety volume V_s inside the grid-like shield with a safety distance $d_{s/1}$ from the shield (see Figure A.4):

$$d_{s/1} = w \quad (\text{m}) \quad (\text{A.4})$$

EXAMPLES

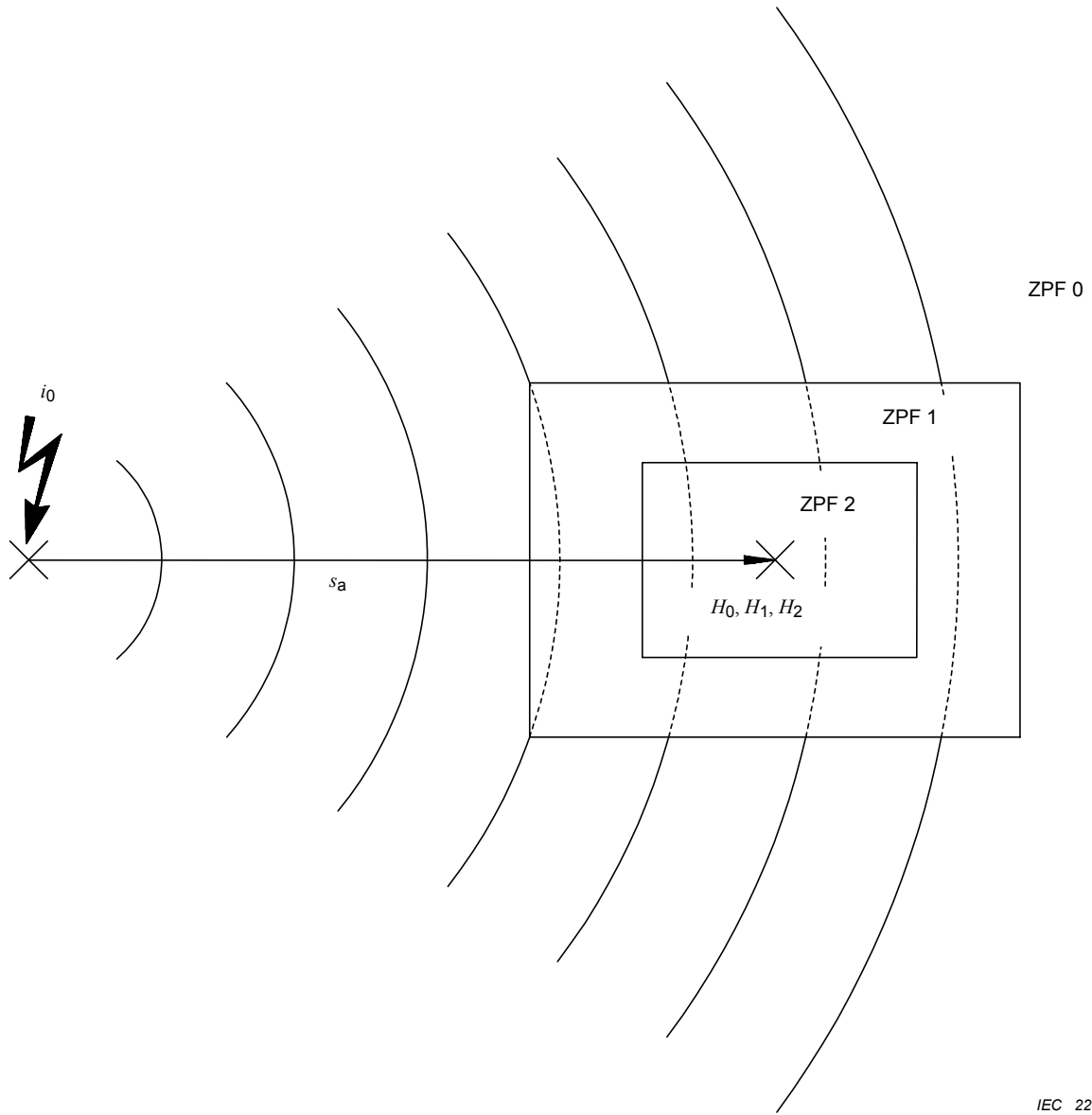
As an example, three copper grid-like shields with dimensions given in Table A.1, and having an average mesh width of $w = 2$ m, are considered (see Figure A.10). This results in a safety distance $d_{s/1} = 2,0$ m defining the safety volume V_s . The values for $H_{1/\max}$ valid inside V_s are calculated for $i_{0/\max} = 100$ kA and shown in Table A.1. The distance to the roof is half the height: $d_r = H/2$. The distance to the wall is half the length: $d_w = L/2$ (centre) or equal to: $d_w = d_{s/1}$ (worst case near the wall).

Table A.1 – Examples for $i_{0/\max} = 100$ kA and $w = 2$ m

Type of shield (see Figure A.10)	$L \times W \times H$ m	$H_{1/\max}$ (centre) A/m	$H_{1/\max}$ ($d_w = d_{s/1}$) A/m
1	10 x 10 x 10	179	447
2	50 x 50 x 10	36	447
3	10 x 10 x 50	80	200

A.3.1.2 Grid-like spatial shield of LPZ 1 in the case of a nearby lightning flash

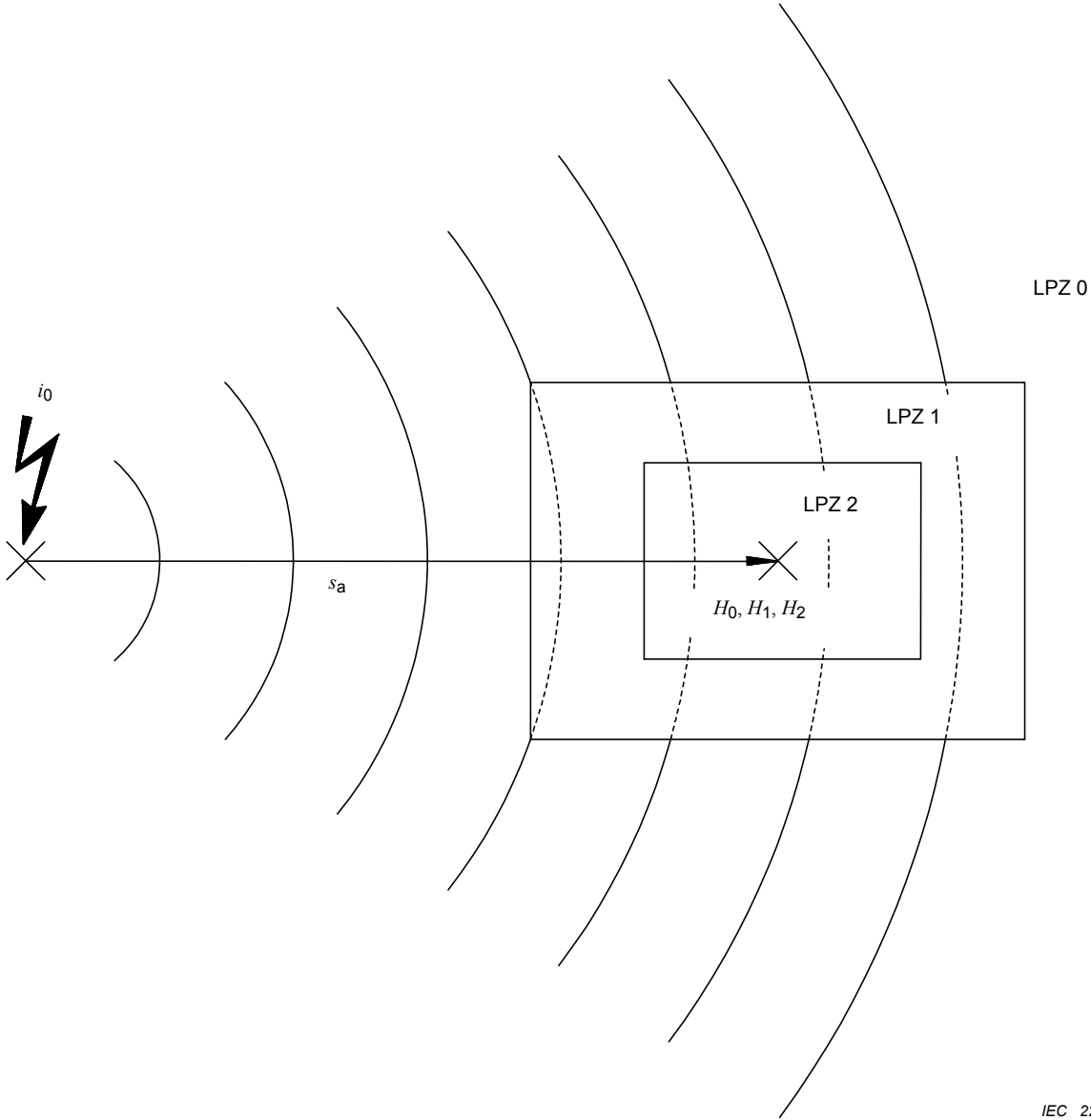
The situation for a nearby lightning flash is shown in Figure A.8. The incident magnetic field around the shielded volume of LPZ 1 can be approximated as a plane wave.



IEC 2218/05

Pas d'écran	$H_0 = i_0 / (2\pi s_a)$
Dans la ZPF 1	$H_1 = H_0 / 10^{SF_1/20}$
Dans la ZPF 2	$H_2 = H_1 / 10^{SF_2/20}$

Figure A.8 – Evaluation du champ magnétique dans le cas de coup de foudre proche



IEC 2218/05

No shield	$H_0 = i_0 / (2\pi s_a)$
Inside LPZ 1	$H_1 = H_0 / 10^{SF_1/20}$
Inside LPZ 2	$H_2 = H_1 / 10^{SF_2/20}$

Figure A.8 – Evaluation of the magnetic field values in case of a nearby lightning flash

Les facteurs d'écran SF ou des écrans spatiaux en grille pour une onde plane sont donnés dans le Tableau A.2 ci-après.

Tableau A.2 – Atténuation magnétique des écrans spatiaux en grille dans le cas d'une onde plane

Matériau	SF (dB) (voir Notes 1 et 2)	
	25 kHz (pour le premier coup)	1 MHz (pour les coups consécutifs)
Cuivre ou aluminium	$20 \cdot \log(8,5/w)$	$20 \cdot \log(8,5/w)$
Acier (voir Note 3)	$20 \cdot \log \left[(8,5/w) / \sqrt{1 + 18 \cdot 10^{-6} / r^2} \right]$	$20 \cdot \log(8,5/w)$
w largeur de maille de l'écran en grille (m). r rayon d'une tige de l'écran en grille (m).		
NOTE 1 $SF = 0$ si le résultat obtenu par la formule est négatif.		
NOTE 2 SF augmente de 6 dB si un réseau maillé de terre est mis en œuvre conformément à 5.2		
NOTE 3 Perméabilité $\mu_r \approx 200$.		

Le champ magnétique incident H_0 est calculé ainsi:

$$H_0 = i_0 / (2\pi \cdot s_a) \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.5})$$

où

i_0 est le courant de foudre dans la ZPF 0_A en ampères;

s_a est la distance moyenne, entre le point d'impact et le volume protégé considéré, en mètres.

Ce qui donne pour la valeur maximale du champ magnétique dans la ZPF 0:

- due au premier coup: $H_{0/f/\max} = i_{f/\max} / (2 \cdot \pi \cdot s_a)$ (A/m) (A.6)

- due aux coups consécutifs: $H_{0/s/\max} = i_{s/\max} / (2 \cdot \pi \cdot s_a)$ (A/m) (A.7)

où

$i_{f/\max}$ est la valeur maximale du courant de premier coup, choisie selon le niveau de protection, en ampères;

$i_{s/\max}$ est la valeur maximale du courant des coups consécutifs, choisie selon le niveau de protection, en ampères

La réduction de H_0 à H_1 dans la ZPF 1 peut être donnée par les formules des valeurs de SF indiquées dans le Tableau A.2:

$$H_{1/\max} = H_{0/\max} / 10^{SF/20} \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.8})$$

où

SF (dB) est le facteur d'écran obtenu à partir des formules du Tableau A.2;

$H_{0/\max}$ est le champ magnétique dans la ZPF 0, en A/m.

The shielding factor SF of the grid-like spatial shields for a plane wave is given in Table A.2 below.

Table A.2 – Magnetic attenuation of grid-like spatial shields for a plane wave

Material	SF (dB) (see Notes 1 and 2)	
	25 kHz (valid for the first stroke)	1 MHz (valid for subsequent strokes)
Copper or aluminium	$20 \cdot \log(8,5/w)$	$20 \cdot \log(8,5/w)$
Steel (see Note 3)	$20 \cdot \log \left[(8,5/w) / \sqrt{1 + 18 \cdot 10^{-6} / r^2} \right]$	$20 \cdot \log(8,5/w)$
w mesh width of the grid-like shield (m). r radius of a rod of the grid-like shield (m).		
NOTE 1 $SF = 0$ in case of negative results of the formulae.		
NOTE 2 SF increases by 6 dB, if a meshed bonding network according to 5.2 is installed.		
NOTE 3 Permeability $\mu_r \approx 200$.		

The incident magnetic field H_0 is calculated using:

$$H_0 = i_0 / (2\pi \cdot s_a) \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.5})$$

where

i_0 is the lightning current in LPZ 0_A in amps;

s_a is the distance between the point of flash and the centre of the shielded volume, in metres.

From this follows for the maximum value of the magnetic field in LPZ 0:

- caused by the first stroke: $H_{0/f/\max} = i_{f/\max} / (2 \cdot \pi \cdot s_a) \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.6})$

- caused by the subsequent strokes: $H_{0/s/\max} = i_{s/\max} / (2 \cdot \pi \cdot s_a) \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.7})$

where

$i_{f/\max}$ is the maximum value of the lightning current of the first stroke according to the chosen protection level, in amps;

$i_{s/\max}$ is the maximum value of the lightning current of the subsequent strokes according to the chosen protection level, in amps.

The reduction of H_0 to H_1 inside LPZ 1 can be derived using the SF values given in Table A.2:

$$H_{1/\max} = H_{0/\max} / 10^{SF/20} \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.8})$$

where

SF (dB) is the shielding factor evaluated from the formulae of Table A.2;

$H_{0/\max}$ is the magnetic field in LPZ 0, in A/m.

Par suite, on peut calculer la valeur maximale du champ magnétique dans la ZPF 1:

$$\text{dû au premier coup: } H_{1/f/\max} = H_{0/f/\max} / 10^{SF/20} \quad (\text{A /m}) \quad (\text{A.9})$$

$$\text{dû aux coups consécutifs: } H_{1/s/\max} = H_{0/s/\max} / 10^{SF/20} \quad (\text{A /m}) \quad (\text{A.10})$$

Ces valeurs de champ magnétique ne sont valables que pour le volume de sécurité V_s à l'intérieur de l'écran en grille avec une distance de sécurité $d_{s/2}$ à partir de l'écran (voir Figure A.4):

$$d_{s/2} = w \cdot SF / 10 \text{ (m) pour } SF \geq 10 \quad (\text{A.11})$$

$$d_{s/2} = w \text{ (m) pour } SF < 10 \quad (\text{A.12})$$

où

SF est le facteur d'écran obtenu à partir des formules du Tableau A.2, en décibels;

w est la largeur de la maille de l'écran en grille, en mètres.

Pour des informations complémentaires sur le calcul du champ magnétique dans les écrans en grille en cas de coup de foudre proche, voir A.3.3.

EXEMPLES

Le champ magnétique $H_{1/\max}$ dans la ZPF 1 en cas d'impacts proches dépend du courant de foudre $i_{0/\max}$, du facteur d'écran SF de la ZPF 1 et de la distance s_a entre le canal de foudre et le centre de la ZPF 1 (voir Figure A.8).

Le courant de foudre $i_{0/\max}$ dépend du niveau de protection choisi (voir la CEI 62305-1). Le facteur d'écran SF (voir Tableau A.2) est essentiellement fonction de la largeur des mailles de l'écran en grille. La distance s_a est:

- soit une distance donnée entre le centre de la ZPF 1 et un objet proche (par exemple mât) dans le cas d'impact sur cet objet; ou
- la distance minimale entre le centre de la ZPF 1 et le canal de foudre en cas d'impact sur le sol proche de la ZPF 1.

Le cas le plus défavorable est le courant de foudre le plus élevé $i_{0/\max}$ associé à la distance s_a la plus faible. Comme indiqué à la Figure A.9, la distance minimale s_a est fonction de la hauteur H et de la longueur L (donc de la largeur W) de la structure (ZPF 1) et du rayon de la sphère fictive r correspondant à $i_{0/\max}$ (voir Tableau A.3), défini par le modèle électro-géométrique (voir la CEI 62305-1, Article A.4).

From this follows for the maximum value of the magnetic field in LPZ 1:

$$\text{caused by the first stroke:} \quad H_{1/f/\max} = H_{0/f/\max} / 10^{SF/20} \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.9})$$

$$\text{caused by the subsequent strokes:} \quad H_{1/s/\max} = H_{0/s/\max} / 10^{SF/20} \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.10})$$

These magnetic field values are valid only for a safety volume V_s inside the grid-like shield with a safety distance $d_{s/2}$ from the shield (see Figure A.4):

$$d_{s/2} = w \cdot SF / 10 \quad (\text{m}) \quad \text{for } SF \geq 10 \quad (\text{A.11})$$

$$d_{s/2} = w \quad (\text{m}) \quad \text{for } SF < 10 \quad (\text{A.12})$$

where

SF is the shielding factor evaluated from the formulae of Table A.2, in decibels;

w is the mesh width of the grid-like shield, in metres.

For additional information concerning the calculation of the magnetic field strength inside grid-like shields in case of nearby lightning flashes, see A.3.3.

EXAMPLES

The magnetic field strength $H_{1/\max}$ inside LPZ 1 in the case of a nearby lightning flash depends on: the lightning current $i_{0/\max}$, the shielding factor SF of the shield of LPZ 1 and the distance s_a between the lightning channel and the centre of LPZ 1 (see Figure A.8).

The lightning current $i_{0/\max}$ depends on the LPL chosen (see IEC 62305-1). The shielding factor SF (see Table A.2) is mainly a function of the mesh width of the grid-like shield. The distance s_a is either:

- a given distance between the centre of LPZ 1 and an object nearby (e.g. a mast) in case of a lightning flash to this object, or
- the minimum distance between the centre of LPZ 1 and the lightning channel in case of a lightning flash to ground near LPZ 1.

The worst-case condition then is the highest current $i_{0/\max}$ combined with the closest distance s_a possible. As shown in Figure A.9, this minimum distance s_a is a function of height H and length L (respectively width W) of the structure (LPZ 1), and of the rolling sphere radius r corresponding to $i_{0/\max}$ (see Table A.3), defined from the electro-geometric model (see IEC 62305-1, Clause A.4).

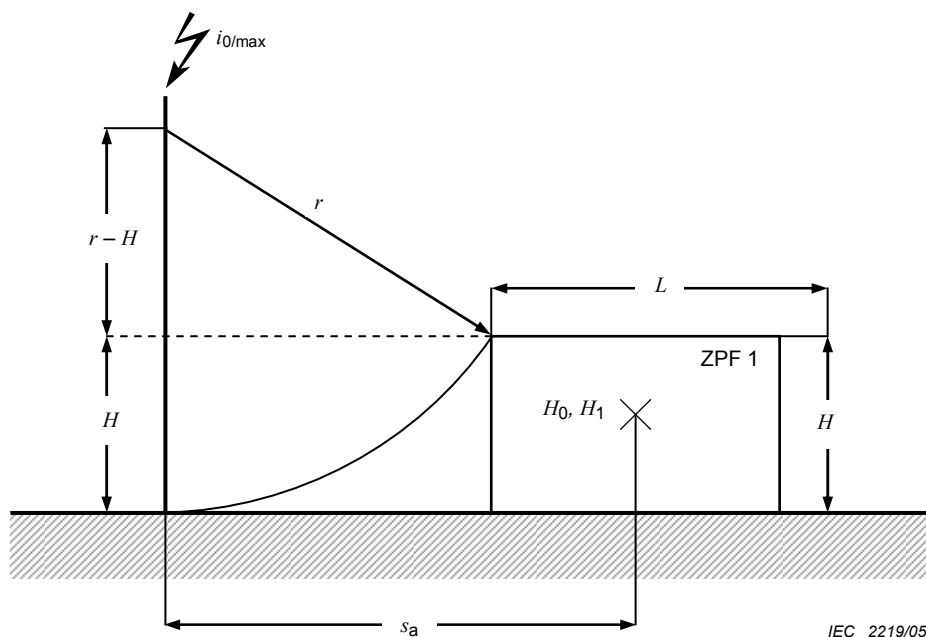


Figure A.9 – Distance s_a en fonction du rayon de la sphère fictive et des dimensions de la structure

La distance peut être calculée comme suit:

$$s_a = \sqrt{2 \cdot r \cdot H - H^2} + L/2 \quad \text{pour } H < r \quad (\text{A.13})$$

$$s_a = r + L/2 \quad \text{pour } H \geq r \quad (\text{A.14})$$

NOTE Pour des distances inférieures à ces valeurs minimales, la foudre atteint directement la structure.

Trois écrans spatiaux typiques peuvent être définis dont les dimensions sont données au Tableau A.4. Pour un écran équivalent en cuivre, on admettra une taille de maille $w = 2$ m. Les résultats donnent pour un facteur d'écran $SF = 12,6$ dB et pour une distance de sécurité $d_{s/2} = 2,5$ m, définissant un volume de sécurité V_s . Les valeurs de $H_{0/\max}$ et $H_{1/\max}$, valables dans le volume V_s sont calculées pour $i_{0/\max} = 100$ kA et indiquées au Tableau A.4.

Tableau A.3 – Rayon de la sphère fictive correspondant au courant maximal de foudre

Niveau de protection	Courant maximal de foudre $i_{0/\max}$ kA	Rayon de la sphère fictive r m
I	200	313
II	150	260
III- IV	100	200

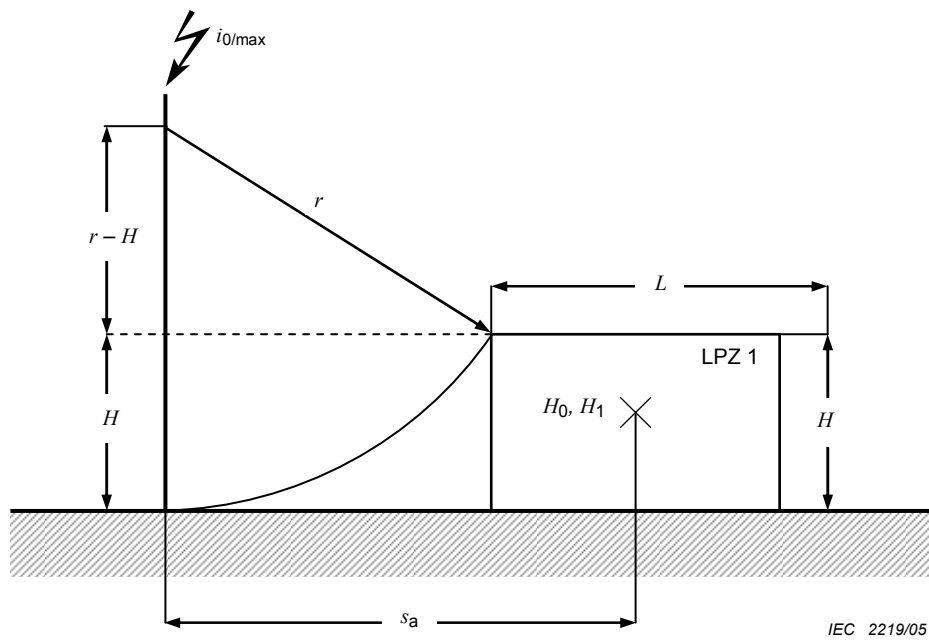


Figure A.9 – Distance s_a depending on rolling sphere radius and structure dimensions

The distance can be calculated as:

$$s_a = \sqrt{2 \cdot r \cdot H - H^2} + L/2 \quad \text{for } H < r \quad (\text{A.13})$$

$$s_a = r + L/2 \quad \text{for } H \geq r \quad (\text{A.14})$$

NOTE For distances smaller than this minimum value the lightning flashes the structure directly.

Three typical shields may be defined, having the dimensions given in Table A.4. A grid-like shield of copper with an average mesh width of $w = 2$ m is assumed. This results in a shielding factor $SF = 12,6$ dB and in a safety distance $d_{s/2} = 2,5$ m defining the safety volume V_s . The values for $H_{0/\max}$ and $H_{1/\max}$ which are assumed to be valid everywhere inside V_s , are calculated for $i_{0/\max} = 100$ kA and shown in Table A.4.

Table A.3 – Rolling sphere radius corresponding to maximum lightning current

Protection level	Maximum lightning current $i_{0/\max}$ kA	Rolling sphere radius r m
I	200	313
II	150	260
III – IV	100	200

Tableau A.4 – Exemples pour $i_{0/\max} = 100$ kA et $w = 2$ m correspondant à $SF = 12,6$ dB

Type d'écran (voir Figure A.10)	$L \times W \times H$ m	S_a m	$H_{0/\max}$ A/m	$H_{1/\max}$ A/m
1	10 × 10 × 10	67	236	56
2	50 × 50 × 10	87	182	43
3	10 × 10 × 50	137	116	27

A.3.1.3 Ecrans spatiaux en grille pour une ZPF 2 ou d'ordre supérieur

Pour les écrans en grille entourant des ZPF 2 ou d'ordre supérieur, aucun courant de foudre partiel significatif ne s'écoulera. C'est pourquoi, en première approche, la réduction de H_n à H_{n+1} dans la ZPF n+1 peut être calculée comme en A.3.1.2, pour les coups de foudre proches:

$$H_{n+1} = H_n / 10^{SF/20} \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.15})$$

où

SF est le facteur d'écran obtenu à partir des formules du Tableau A.2, en décibels;

H_n est le champ magnétique dans la ZPF n, en ampères par mètre.

Si $H_n = H_1$, la valeur du champ peut être déterminée comme suit:

- en cas de coup de foudre direct sur l'écran en grille de la ZPF 1, voir A.3.1.1 et la Figure A.7b, d_w et d_r sont les distances entre l'écran de la ZPF 2 et respectivement les parois et le plafond;
- en cas de coup de foudre proche de l'écran de la ZPF 1, voir A.3.1.2 et la Figure A.8.

Les valeurs du champ magnétique sont valables pour les volumes V_s dans les écrans en grille définis par la distance de sécurité $d_{s/2}$ définie en A.3.1.2 (voir Figure A.4).

A.3.2 Evaluation théorique du champ magnétique dû aux coups de foudre directs

Dans A.3.1.1, les formules de détermination du champ magnétique $H_{1/\max}$ se fondent sur les calculs numériques du champ magnétique dans le cas de trois écrans spatiaux en grille typiques représentés à la Figure A.10. Pour ces calculs, un impact de foudre sur un des rebords du toit est pris en compte. Le canal de foudre est simulé par une tige verticale de longueur 100 m au-dessus du toit. Le sol est simulé par un plateau conducteur idéal.

Table A.4 – Examples for $i_{0/\max} = 100$ kA and $w = 2$ m corresponding to $SF = 12,6$ dB

Type of shield (see Figure A.10)	$L \times W \times H$ m	S_a m	$H_{0/\max}$ A/m	$H_{1/\max}$ A/m
1	10 x 10 x 10	67	236	56
2	50 x 50 x 10	87	182	43
3	10 x 10 x 50	137	116	27

A.3.1.3 Grid-like spatial shields for LPZ 2 and higher

In the grid-like shields of LPZ 2 and higher, no significant partial lightning currents will flow. Therefore, as a first approach, the reduction of H_n to H_{n+1} inside LPZ n+1 can be evaluated as given by A.3.1.2 for nearby lightning flashes:

$$H_{n+1} = H_n / 10^{SF/20} \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.15})$$

where

SF is the shielding factor from Table A.2, in decibels;

H_n is the magnetic field inside LPZ n, in amperes per metre.

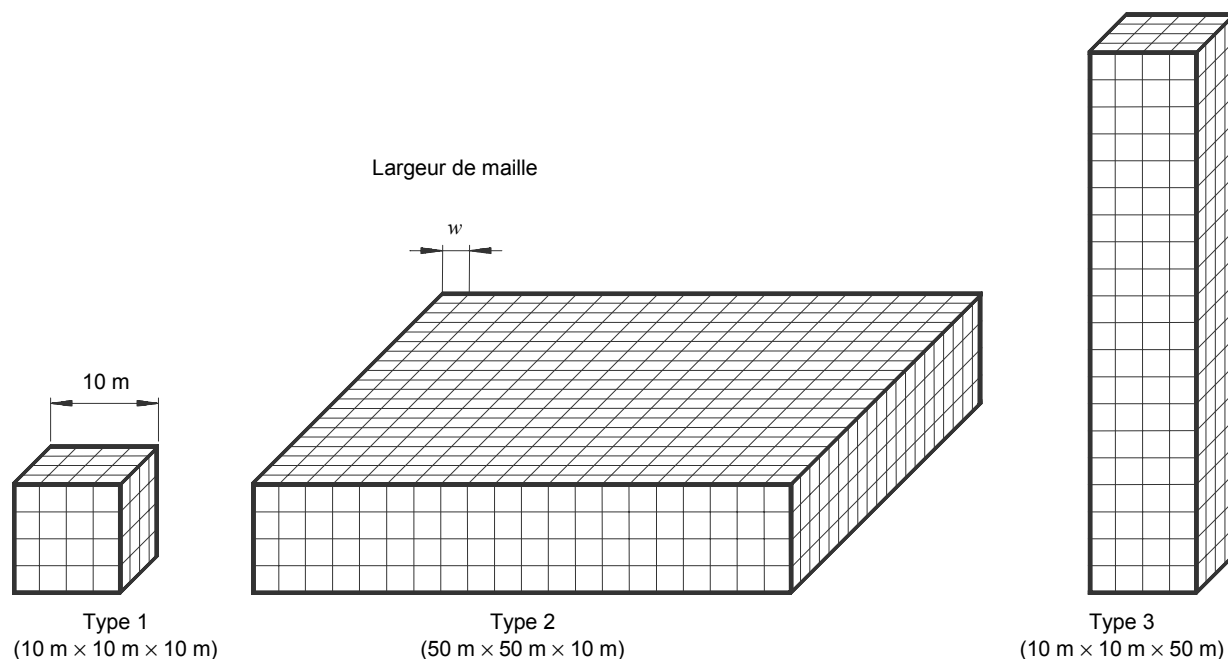
If $H_n = H_1$ this field strength can be evaluated as follows:

- In the case of lightning flashes direct to the grid-like shield of LPZ 1, see A.3.1.1 and Figure A.7b, while d_w and d_r are the distances between the shield of LPZ 2 and the wall respectively the roof.
- In the case of lightning flashes nearby LPZ 1, see A.3.1.2 and Figure A.8.

These magnetic field values are valid only for a safety volume V_s inside the grid-like shield with a safety distance $d_{s/2}$ from the shield as defined in A.3.1.2 (see Figure A.4).

A.3.2 Theoretical evaluation of the magnetic field due to direct lightning flashes

In A.3.1.1, the formulas for the assessment of the magnetic field strength $H_{1/\max}$ are based on numerical magnetic field calculations for three typical grid-like shields as shown in Figure A.10. For these calculations, a lightning flash to one of the edges of the roof is assumed. The lightning channel is simulated by a vertical conducting rod with a length of 100 m on top of the roof. An idealized conducting plate simulates the ground plane.

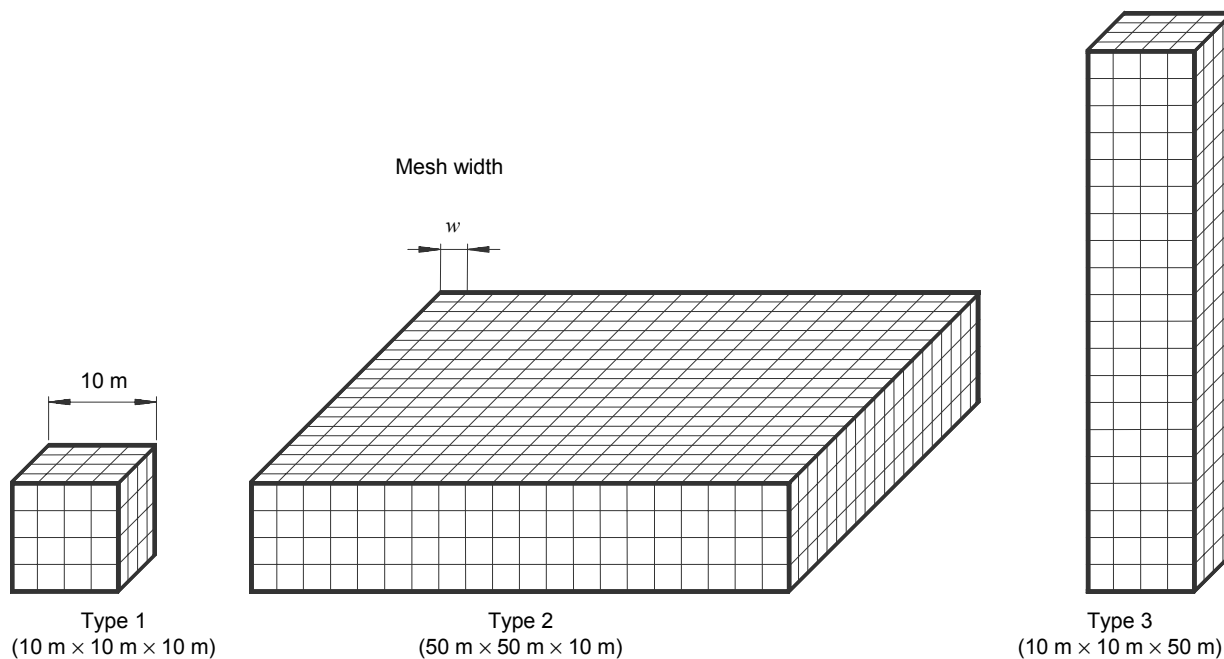


IEC 2220/05

Figure A.10 – Types de volumes d'écrans en grille de grandes dimensions

Pour le calcul, le couplage magnétique de toute tige de l'écran en grille avec toute autre tige, y compris avec le canal de foudre, est considéré, cela aboutissant à un système d'équations pour le calcul de la distribution du courant de foudre dans l'écran. Le champ magnétique dans l'écran se déduit de la distribution du courant de foudre. La résistance des tiges est négligée. Ainsi, la distribution du courant dans l'écran en grille et le champ magnétique sont indépendants de la fréquence. Le couplage capacitif est aussi négligé de manière à ne pas faire apparaître les effets transitoires.

Pour l'écran de Type 1 présenté à la Figure A.10, les résultats sont indiqués dans les Figures A.11 et A.12.



IEC 2220/05

Figure A.10 – Types of grid-like large volume shields

In the calculation, the magnetic field coupling of every rod within the grid-like shield including all other rods and the simulated lightning channel, is considered and results in a set of equations to calculate the lightning current distribution in the grid. From this current distribution, the magnetic field strength inside the shield is derived. It is assumed that the resistance of the rods can be neglected. Therefore, the current distribution in the grid-like shield and the magnetic field strength are independent of the frequency. Also, capacitive coupling is neglected to avoid transient effects.

For the case of a Type 1 shield (see Figure A.10), some results are presented in Figures A.11 and A.12.

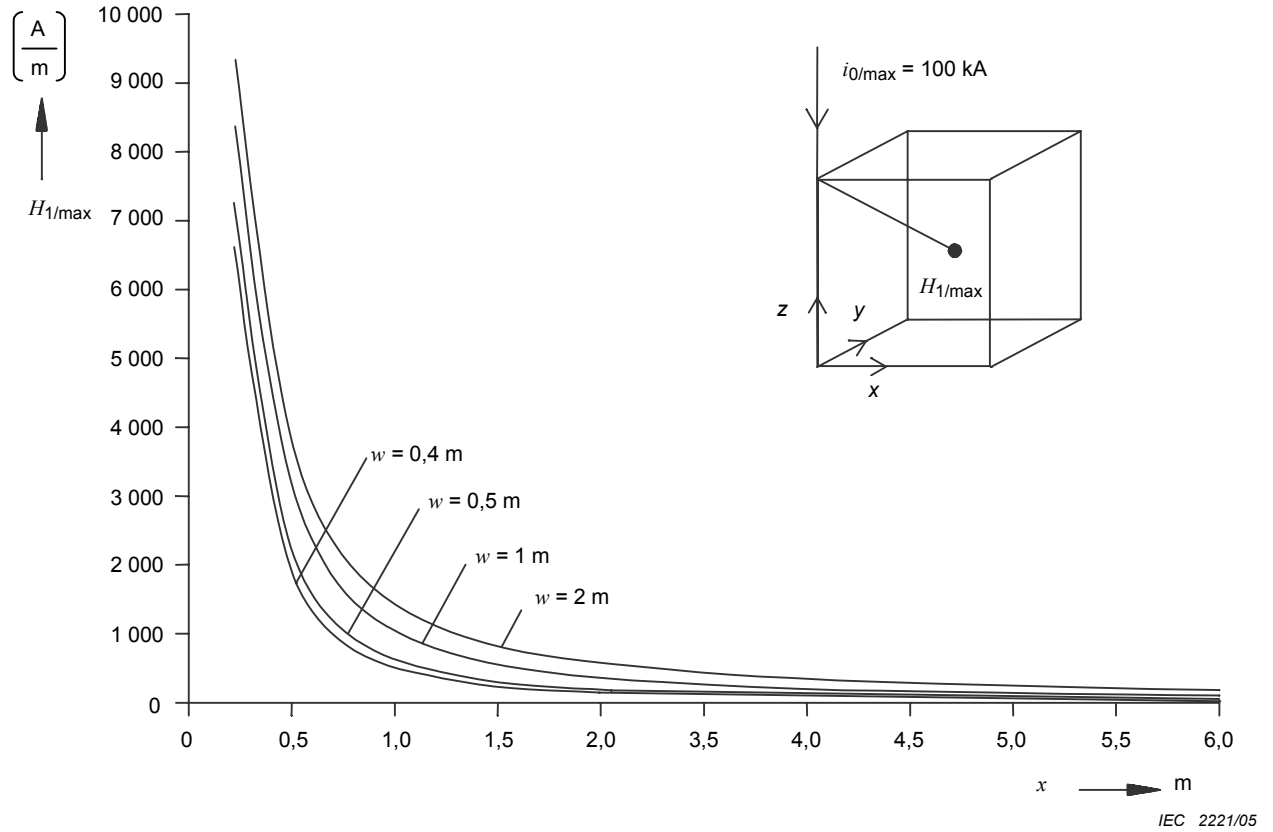


Figure A.11 – Intensité du champ magnétique $H_{1/\max}$ dans un écran en grille de Type 1

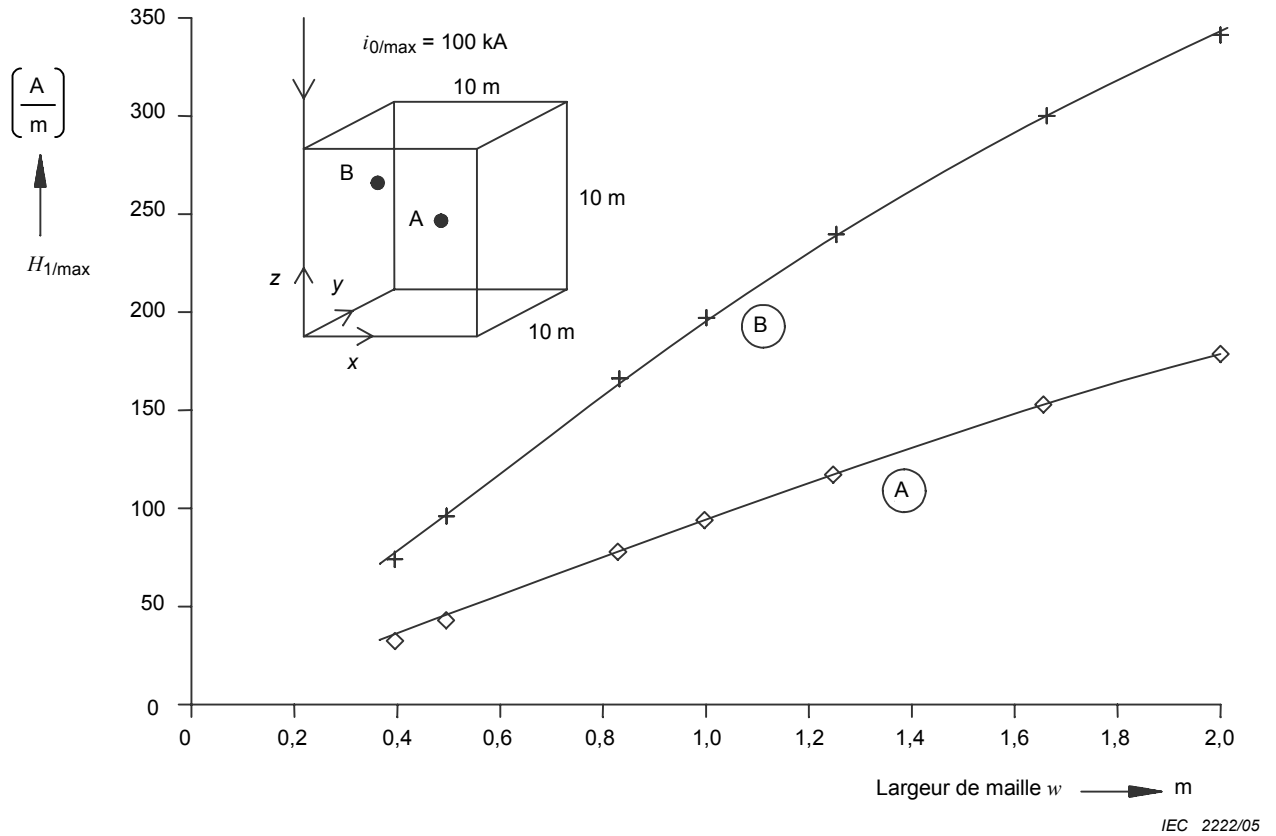


Figure A.12 – Intensité du champ magnétique $H_{1/\max}$ dans un écran en grille de Type 1

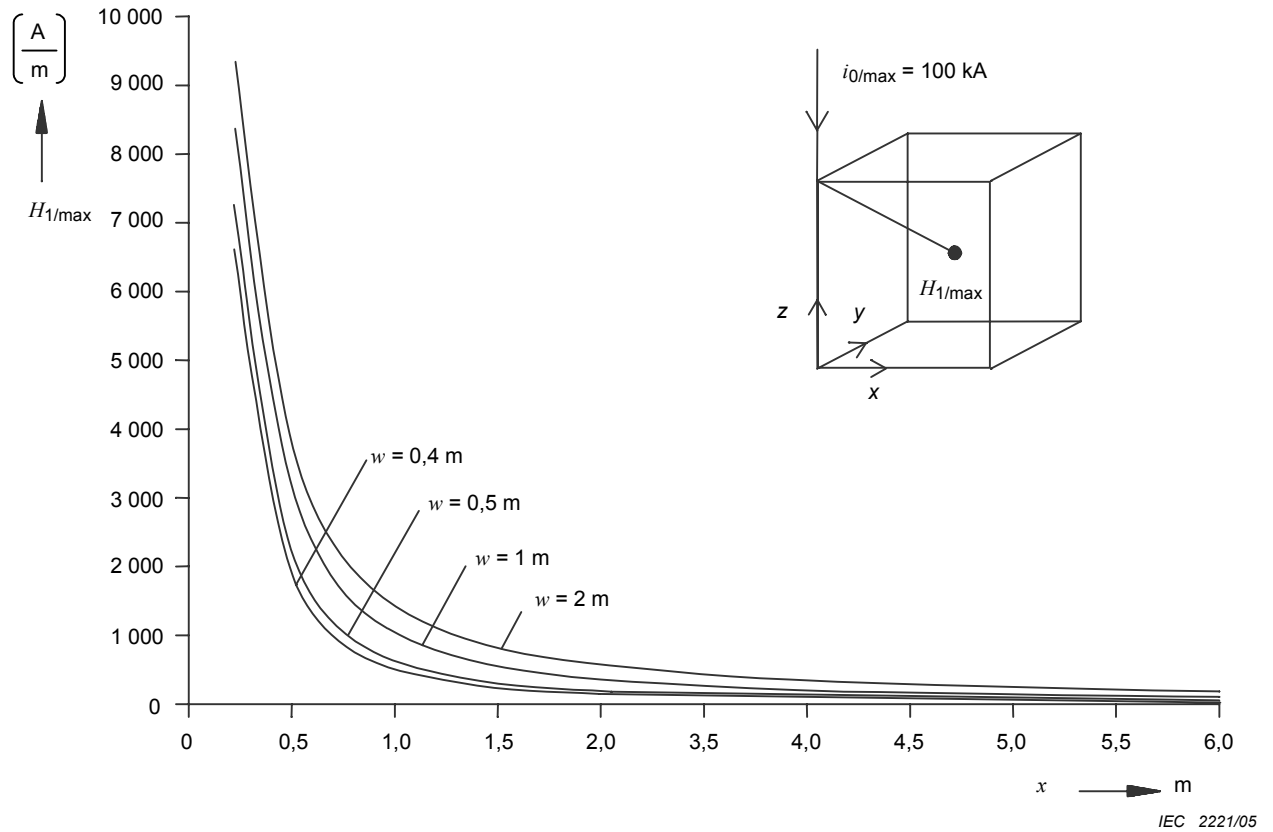


Figure A.11 – Magnetic field strength $H_{1/\max}$ inside a grid-like shield Type 1

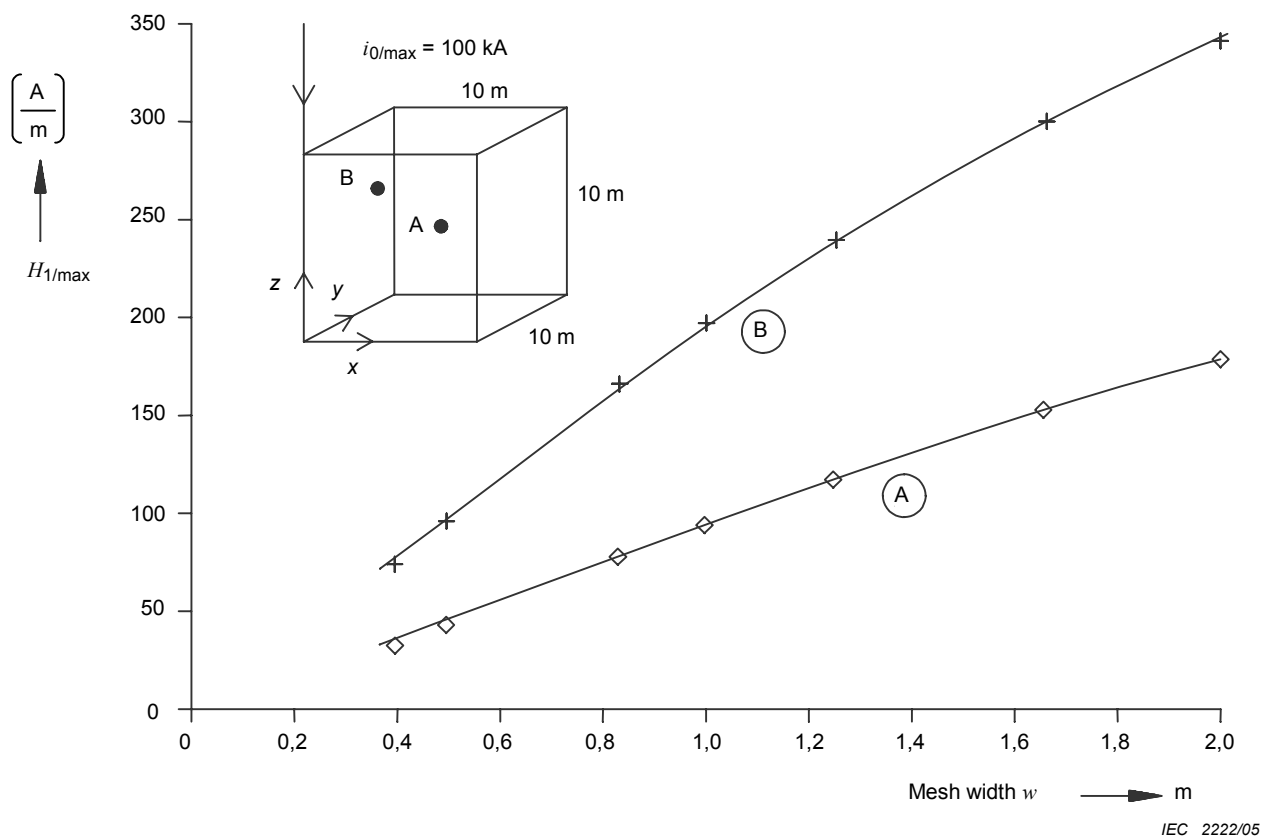


Figure A.12 – Magnetic field strength $H_{1/\max}$ inside a grid-like shield Type 1

Dans tous les cas, il est supposé un courant de foudre maximal $i_{0/\max} = 100$ kA. Dans les deux figures, $H_{1/\max}$ est le champ magnétique maximal en un point dû à ses composantes H_x , H_y et H_z :

$$H_{1/\max} = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2} \quad (\text{A.16})$$

Dans la Figure A.11, $H_{1/\max}$ est calculé sur une ligne droite ayant pour origine le point d'impact ($x = y = 0$, $z = 10$ m) et aboutissant au centre de gravité du volume ($x = y = 5$ m, $z = 5$ m). $H_{1/\max}$ est tracé comme une fonction de x sur cette ligne. Le paramètre est la taille de la maille w de l'écran en grille.

Dans la Figure A.12, $H_{1/\max}$ est calculé pour deux points de l'écran (point A: $x = y = 5$ m, $z = 5$ m; point B: $x = y = 7$ m, $z = 7$ m). Le résultat est tracé comme une fonction de la taille de la maille w .

Les deux figures montrent l'influence des principaux paramètres de la distribution du champ magnétique dans l'écran en grille: distances au toit ou à la paroi et taille des mailles.

Dans la figure A.11, il peut être observé que le long des lignes dans le volume d'écran, il peut exister des croisements avec l'abscisse et changement de signe des composantes du champ magnétique $H_{1/\max}$. Les formules de distribution données en A.3.1.1 sont ainsi des approximations du premier ordre de champs magnétiques réels beaucoup plus complexes dans un écran en grille.

A.3.3 Evaluation expérimentale du champ magnétique dû à un coup de foudre direct

En parallèle avec les calculs théoriques des champs magnétiques dans des structures avec écrans, des mesures peuvent être effectuées. La Figure A.13 montre une proposition de simulation de coup de foudre direct en un point arbitraire de la structure avec écran en utilisant un générateur de courant de foudre. Normalement, de tels essais peuvent être effectués à des niveaux faibles avec une forme d'onde du courant de foudre simulé qui doit être identique au courant de foudre réel.

In all cases a maximum lightning current $i_{o/\max} = 100$ kA is assumed. In both figures $H_{1/\max}$ is the maximum magnetic field strength at a point, derived from its components H_x , H_y and H_z :

$$H_{1/\max} = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2} \quad (\text{A.16})$$

In Figure A.11 $H_{1/\max}$ is calculated along a straight line starting from the point of flash ($x = y = 0$, $z = 10$ m) and ending at the centre of the volume ($x = y = 5$ m, $z = 5$ m). $H_{1/\max}$ is plotted as a function of the x -coordinate for each point on this line, where the parameter is the mesh width w of the grid-like shield.

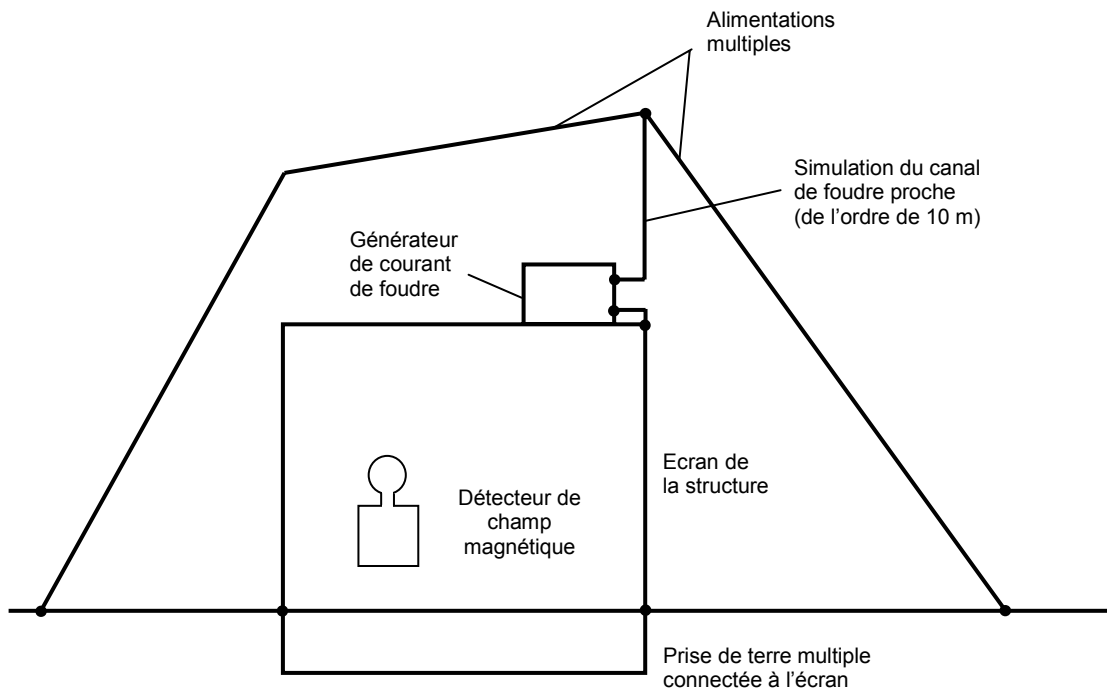
In Figure A.12 $H_{1/\max}$ is calculated for two points inside the shield (point A: $x = y = 5$ m, $z = 5$ m; point B: $x = y = 7$ m, $z = 7$ m). The result is plotted as a function of the mesh width w .

Both figures show the effects of the main parameters governing the magnetic field distribution inside a grid-like shield: the distance from the wall or roof, and the mesh width.

In Figure A.11 it should be observed that along other lines through the volume of the shield, there may be zero-axis crossings and sign changes of the components of the magnetic field strength $H_{1/\max}$. The formulas in A.3.1.1 are therefore first-order approximations of the real, and more complicated, magnetic field distribution inside a grid-like shield.

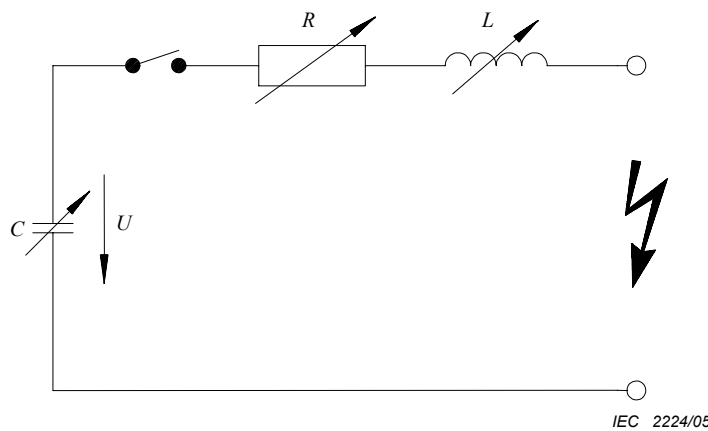
A.3.3 Experimental evaluation of the magnetic field due to a direct lightning flash

The magnetic fields inside shielded structures can also be determined by taking experimental measurements. Figure A.13 shows a proposal for the simulation of a direct lightning flash to an arbitrary point of a shielded structure, using a lightning current generator. Normally, such tests can be carried out as low current level tests but where the waveshape of the simulated lightning current is identical to the actual lightning discharge.



IEC 2223/05

Figure A.13a – Dispositif d'essai



IEC 2224/05

Légende

U typique, quelque 10 kV
 C typique, quelque 10 nF

Figure A.13b – Générateur de courant de foudre

Figure A.13 – Essai à bas niveau pour déterminer le champ magnétique dans une structure avec écran

A.4 Calcul des tensions et courants induits

Les boucles rectangulaires conformes à la Figure A.14 sont prises en compte; si d'autres configurations existent, elles pourront être transformées en configuration rectangulaire avec la même surface de boucle.

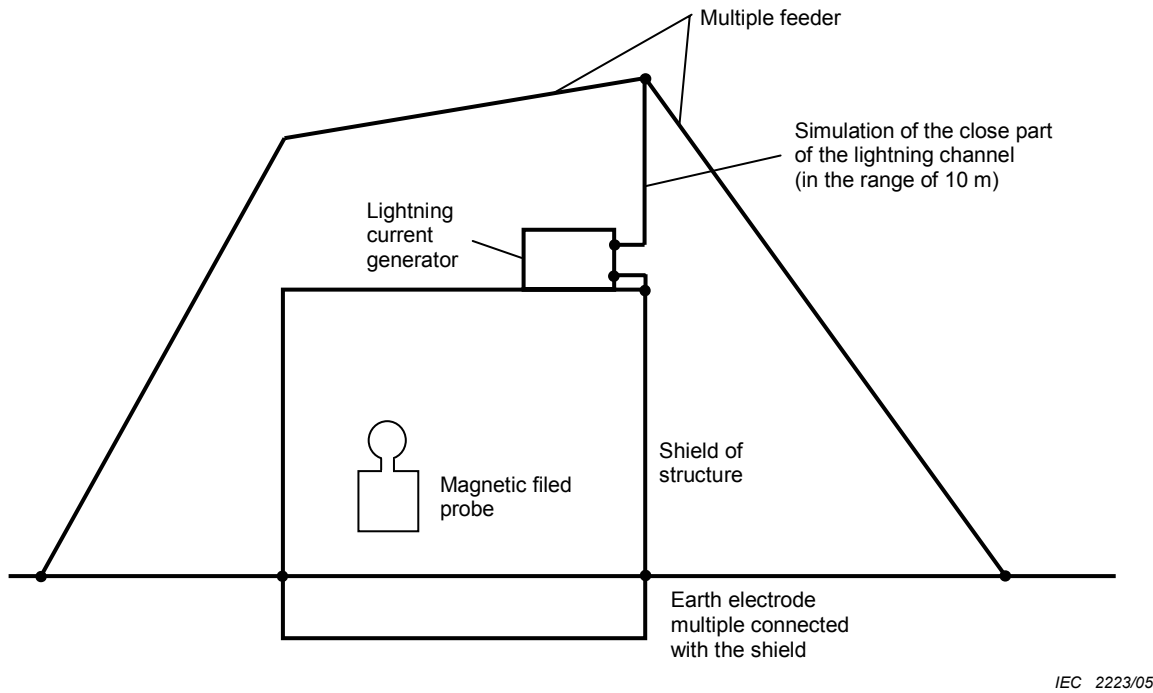
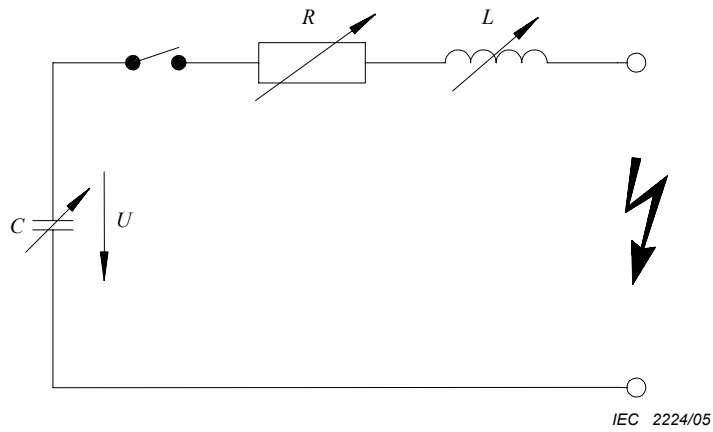


Figure A.13a – Test arrangement



Key

- U typical some 10 kV
- C typical some 10 nF

Figure A.13b – Lightning current generator

Figure A.13 – Low-level test to evaluate the magnetic field inside a shielded structure

A.4 Calculation of induced voltages and currents

Only rectangular loops according to Figure A.14 are considered. Loops with other shapes should be transformed into rectangular configurations having the same loop area.

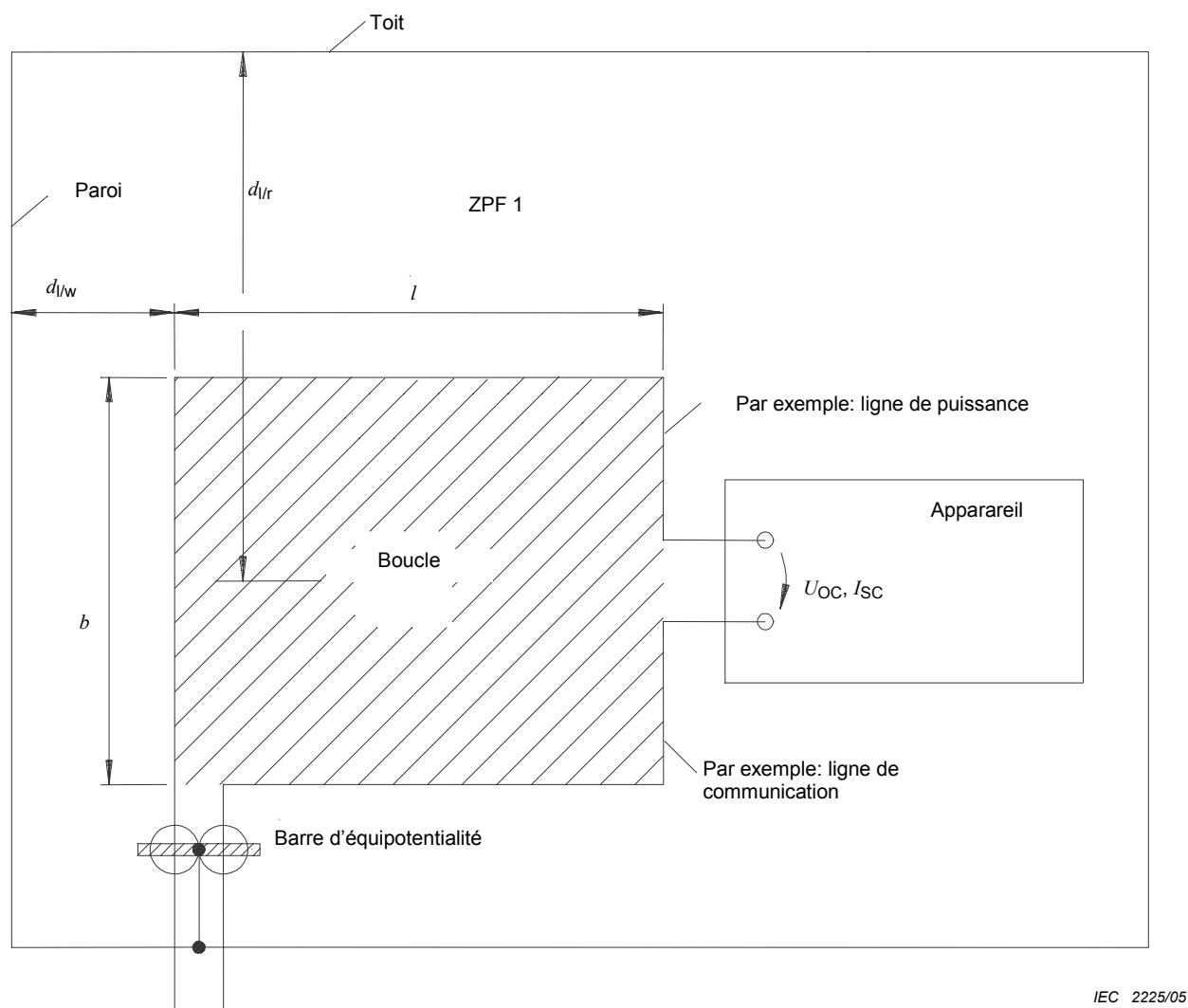


Figure A.14 – Tensions et courants induits dans une boucle due aux réseaux

A.4.1 Situation dans une ZPF 1 en cas de coup de foudre direct

Le champ magnétique H_1 dans le volume V_s de la ZPF 1 est (voir A.3.1.1):

$$H_1 = k_H \cdot i_0 \cdot w / (d_w \cdot \sqrt{d_r}) \text{ (A/m)} \tag{A.17}$$

Pour le circuit ouvert, la tension u_{oc} est donnée par:

$$u_{oc} = \mu_0 \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{l/w}) \cdot k_H \cdot (w / \sqrt{d_{l/r}}) \cdot di_0 / dt \text{ (V)} \tag{A.18}$$

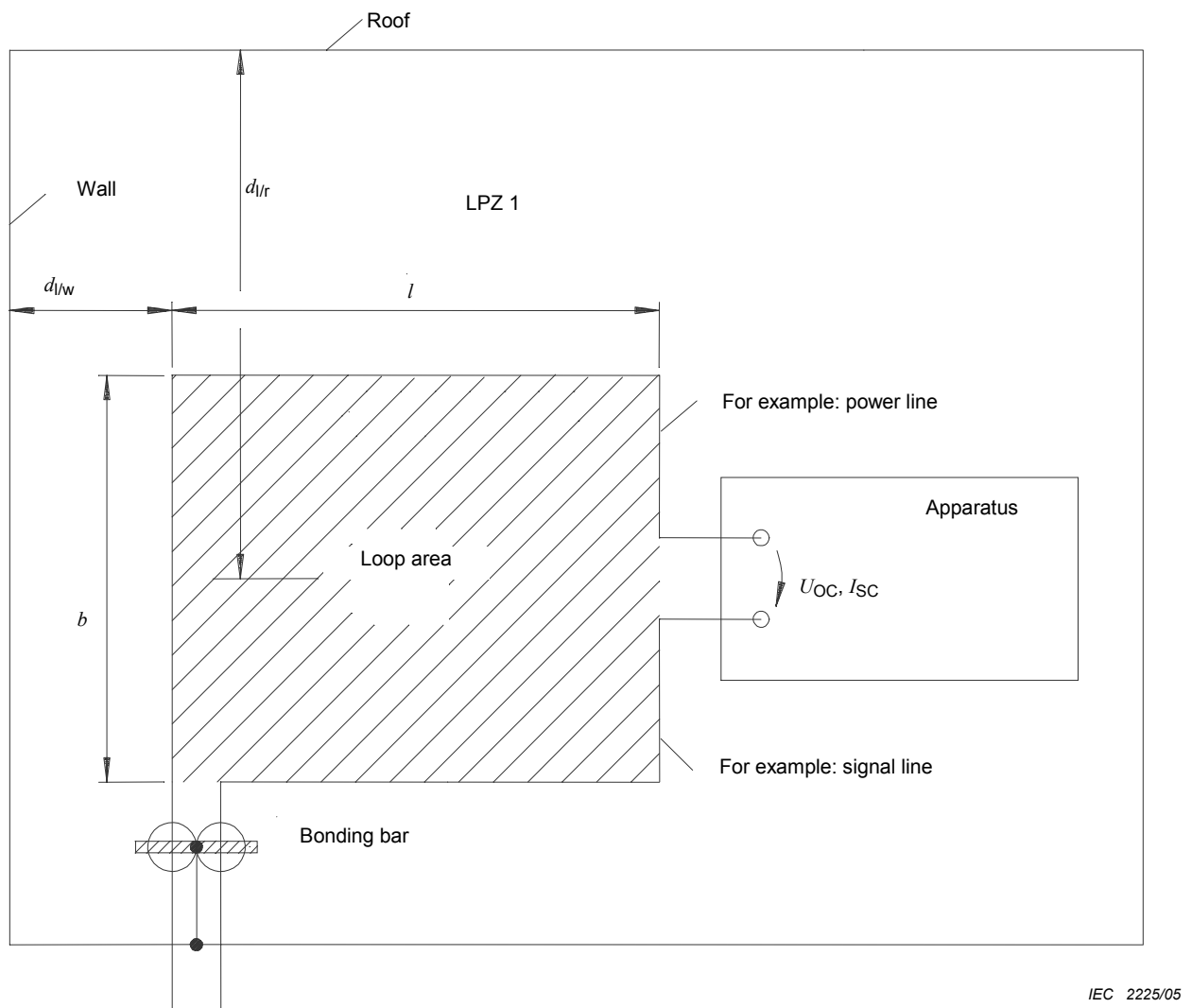


Figure A.14 – Voltages and currents induced into a loop built by lines

A.4.1 Situation inside LPZ 1 in the case of a direct lightning flash

For the magnetic field H_1 inside the volume V_s of an LPZ 1, the following applies (see A.3.1.1):

$$H_1 = k_H \cdot i_0 \cdot w / (d_w \cdot \sqrt{d_r}) \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.17})$$

The open circuit voltage u_{oc} is given by:

$$u_{oc} = \mu_0 \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{lw}) \cdot k_H \cdot (w / \sqrt{d_r}) \cdot di_0 / dt \quad (\text{V}) \quad (\text{A.18})$$

Lors du temps de montée T_1 , la valeur crête s'élève à $u_{oc/max}$:

$$u_{oc/max} = \mu_o \cdot b \ln(1 + l/d_{l/w}) \cdot k_H \cdot (w / \sqrt{d_{l/r}}) \cdot i_{o/max} / T_1 \quad (V) \quad (A.19)$$

où

μ_o est égal à $4\pi \cdot 10^{-7}$ (Vs)/(Am);

b est la largeur de la boucle, (m);

$d_{l/w}$ est la distance entre la boucle et le mur de l'écran, avec $d_{l/w} \geq d_{s/l}$ (m);

$d_{l/r}$ est la distance moyenne entre la boucle et la toiture de l'écran, (m);

i_o est le courant de foudre dans la ZPF 0_A (A);

$i_{o/max}$ est la valeur maximale du courant de foudre dans la ZPF 0_A (A);

$k_H(1/\sqrt{m})$ est le facteur de configuration $k_H = 0,01 \cdot (1/\sqrt{m})$;

l est la longueur de la boucle, (m);

T_1 est le temps de montée du courant de foudre dans la ZPF 0_A (s);

w est la largeur de la maille de l'écran (m).

Le courant de court-circuit I_{sc} est donné par:

$$I_{sc} = \mu_o \cdot b \ln(1 + l/d_{l/w}) \cdot k_H \cdot (w / \sqrt{d_{l/r}}) \cdot i_o / L \quad (A) \quad (A.20)$$

où la résistance ohmique des conducteurs est négligée (cas le plus défavorable).

La valeur maximale $I_{sc/max}$ est donnée par:

$$I_{sc/max} = \mu_o \cdot b \ln(1 + l/d_{l/w}) \cdot k_H \cdot (w / \sqrt{d_{l/r}}) \cdot i_{o/max} / L \quad (A) \quad (A.21)$$

où L est l'auto-inductance de la boucle, (H).

Pour une boucle rectangulaire, l'auto-inductance L peut être calculée depuis:

$$L = \{0,8 \cdot \sqrt{l^2 + b^2} - 0,8 \cdot (l + b) + 0,4 \cdot l \cdot \ln \left[(2b/r) / \left(1 + \sqrt{1 + (b/l)^2} \right) \right] + 0,4 \cdot b \cdot \ln \left[(2l/r) / \left(1 + \sqrt{1 + (l/b)^2} \right) \right] \} \cdot 10^{-6} \quad (H) \quad (A.22)$$

où r est le rayon de fil de boucle (m).

Pour la tension et le courant induits par le champ magnétique du premier coup ($T_1 = 10 \mu s$), nous avons:

$$U_{oc/f/max} = 1,26 \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{l/w}) \cdot (w / \sqrt{d_{l/r}}) \cdot i_{f/max} \quad (V) \quad (A.23)$$

$$I_{SC/f/max} = 12,6 \cdot 10^{-6} \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{l/w}) \cdot (w / \sqrt{d_{l/r}}) \cdot i_{f/max} / L \quad (A) \quad (A.24)$$

The peak value $u_{oc/max}$ occurs during the front time T_1

$$u_{oc/max} = \mu_0 \cdot b \ln(1 + l/d_{l/w}) \cdot k_H \cdot (w / \sqrt{d_{l/r}}) \cdot i_{o/max} / T_1 \quad (\text{V}) \quad (\text{A.19})$$

where

- μ_0 is equal to $4\pi \cdot 10^{-7}$ (Vs)/(Am);
- b is the width of the loop in (m);
- $d_{l/w}$ is the distance of the loop from the wall of the shield, where $d_{l/w} \geq d_{s/1}$, in (m);
- $d_{l/r}$ is the average distance of the loop from the roof of the shield, in (m);
- i_0 is the lightning current in LPZ 0_A in (A);
- $i_{o/max}$ is the maximum value of the lightning current stroke in LPZ 0_A, in (A);
- k_H (1/√m) is the configuration factor $k_H = 0,01 \cdot (1/\sqrt{m})$;
- l is the length of the loop, in (m);
- T_1 is the front time of the lightning current stroke in LPZ 0_A in (s);
- w is the mesh width of the grid-like shield, (m).

The short circuit current I_{sc} is given by:

$$I_{sc} = \mu_0 \cdot b \ln(1 + l/d_{l/w}) \cdot k_H \cdot (w / \sqrt{d_{l/r}}) \cdot i_0 / L \quad (\text{A}) \quad (\text{A.20})$$

where the ohmic resistance of the wire is neglected (worst case).

The maximum value $I_{sc/max}$ is given by:

$$I_{sc/max} = \mu_0 \cdot b \ln(1 + l/d_{l/w}) \cdot k_H \cdot (w / \sqrt{d_{l/r}}) \cdot i_{o/max} / L \quad (\text{A}) \quad (\text{A.21})$$

where L is the self-inductance of the loop, in (H).

For rectangular loops, the self-inductance L can be calculated from:

$$L = \left\{ 0,8 \cdot \sqrt{l^2 + b^2} - 0,8 \cdot (l + b) + 0,4 \cdot l \cdot \ln \left[(2b/r) / \left(1 + \sqrt{1 + (b/l)^2} \right) \right] \right. \\ \left. + 0,4 \cdot b \cdot \ln \left[(2l/r) / \left(1 + \sqrt{1 + (l/b)^2} \right) \right] \right\} \cdot 10^{-6} \quad (\text{H}) \quad (\text{A.22})$$

where r is the radius of the wire, in (m).

The voltage and current induced by the magnetic field of the first stroke ($T_1 = 10 \mu\text{s}$) is given by:

$$U_{oc/f/max} = 1,26 \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{l/w}) \cdot (w / \sqrt{d_{l/r}}) \cdot i_{f/max} \quad (\text{V}) \quad (\text{A.23})$$

$$I_{sc/f/max} = 12,6 \cdot 10^{-6} \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{l/w}) \cdot (w / \sqrt{d_{l/r}}) \cdot i_{f/max} / L \quad (\text{A}) \quad (\text{A.24})$$

Pour la tension et le courant induits par le champ magnétique des coups consécutifs ($T_1 = 0,25 \mu\text{s}$), nous avons:

$$U_{oc/s/\max} = 50,4 \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{l/w}) \cdot (w / \sqrt{d_{l/r}}) \cdot i_{f/\max} \quad (\text{V}) \quad (\text{A.25})$$

$$I_{sc/s/\max} = 12,6 \cdot 10^{-6} \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{l/w}) \cdot (w / \sqrt{d_{l/r}}) \cdot i_{s/\max} / L \quad (\text{A}) \quad (\text{A.26})$$

où

$i_{f/\max}$ est la valeur maximale du courant de premier coup, (kA);

$i_{s/\max}$ est la valeur maximale du courant des coups consécutifs, (kA).

A.4.2 Situation dans la ZPF 1 en cas d'impact proche

Le champ magnétique H_1 dans le volume V_s de ZPF 1 est supposé homogène (voir A.3.1.2).

Pour le circuit ouvert, la tension U_{oc} est:

$$U_{oc} = \mu_0 \cdot b \cdot l \cdot dH_1 / dt \quad (\text{V}) \quad (\text{A.27})$$

Durant le temps de montée T_1 , la valeur crête s'élève à $U_{oc/\max}$:

$$U_{oc/\max} = \mu_0 \cdot b \cdot l \cdot H_{1/\max} / T_1 \quad (\text{V}) \quad (\text{A.28})$$

où

μ_0 est égal à $4\pi \cdot 10^{-7}$ (Vs)/(Am);

b est la largeur de la boucle (m);

H_1 est le champ magnétique dans la ZPF 1 en fonction du temps (A/m);

$H_{1/\max}$ est la valeur maximale du champ magnétique dans la ZPF 1 (A/m);

l est la longueur de la boucle (m);

T_1 est le temps de montée du champ magnétique, identique à celui du courant de foudre (s).

Le courant de court-circuit I_{sc} , est donné par:

$$I_{sc} = \mu_0 \cdot b \cdot l \cdot H_1 / L \quad (\text{A}) \quad (\text{A.29})$$

où la résistance ohmique des conducteurs est négligée (cas le plus défavorable).

La valeur maximale $I_{sc/\max}$ est donné par:

$$I_{sc/\max} = \mu_0 \cdot b \cdot l \cdot H_{1/\max} / L \quad (\text{A}) \quad (\text{A.30})$$

où L est l'auto-inductance de la boucle (H) (pour le calcul de L , voir A.4.1).

Pour la tension et le courant induits par le champ magnétique $H_{1/f}$ du premier coup ($T_1 = 10 \mu\text{s}$), nous avons:

$$U_{oc/f/\max} = 0,126 \cdot b \cdot l \cdot H_{1/f/\max} \quad (\text{V}) \quad (\text{A.31})$$

$$I_{sc/f/\max} = 1,26 \cdot 10^{-6} \cdot b \cdot l \cdot H_{1/f/\max} / L \quad (\text{A}) \quad (\text{A.32})$$

The voltage and current induced by the magnetic field of the subsequent strokes ($T_1 = 0,25 \mu\text{s}$) is given by:

$$U_{oc/s/\max} = 50,4 \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{l/w}) \cdot (w / \sqrt{d_{l/r}}) \cdot i_{f/\max} \quad (\text{V}) \quad (\text{A.25})$$

$$I_{sc/s/\max} = 12,6 \cdot 10^{-6} \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{l/w}) \cdot (w / \sqrt{d_{l/r}}) \cdot i_{s/\max} / L \quad (\text{A}) \quad (\text{A.26})$$

where

$i_{f/\max}$ is the maximum value of the current of the first stroke in (kA);

$i_{s/\max}$ is the maximum value of the current of the subsequent strokes in (kA).

A.4.2 Situation inside LPZ 1 in the case of a nearby lightning flash

The magnetic field H_1 inside volume V_s of LPZ 1 is assumed to be homogeneous (see A.3.1.2).

The open circuit voltage U_{oc} is given by:

$$U_{oc} = \mu_0 \cdot b \cdot l \cdot dH_1 / dt \quad (\text{V}) \quad (\text{A.27})$$

The peak value $U_{oc/\max}$ occurs during the front time T_1 :

$$U_{oc/\max} = \mu_0 \cdot b \cdot l \cdot H_{1/\max} / T_1 \quad (\text{V}) \quad (\text{A.28})$$

where

μ_0 is equal to $4\pi \cdot 10^{-7}$ (Vs)/(Am);

b width of the loop, in (m);

H_1 time dependent magnetic field inside LPZ 1, in (A/m);

$H_{1/\max}$ maximum value of the magnetic field inside LPZ 1 in (A/m);

l length of the loop, in (m);

T_1 front time of the magnetic field, identical with the front time of the lightning current stroke, in (s).

The short circuit current I_{sc} is given by:

$$I_{sc} = \mu_0 \cdot b \cdot l \cdot H_1 / L \quad (\text{A}) \quad (\text{A.29})$$

where the ohmic resistance of the wire is neglected (worst case).

The maximum value $I_{sc/\max}$, is given by:

$$I_{sc/\max} = \mu_0 \cdot b \cdot l \cdot H_{1/\max} / L \quad (\text{A}) \quad (\text{A.30})$$

where L is the self-inductance of the loop in (H) (for the calculation of L , see A.4.1).

The voltage and current induced by the magnetic field $H_{1/f}$ of the first stroke ($T_1 = 10 \mu\text{s}$) is given by:

$$U_{oc/f/\max} = 0,126 \cdot b \cdot l \cdot H_{1/f/\max} \quad (\text{V}) \quad (\text{A.31})$$

$$I_{sc/f/\max} = 1,26 \cdot 10^{-6} \cdot b \cdot l \cdot H_{1/f/\max} / L \quad (\text{A}) \quad (\text{A.32})$$

Pour la tension et le courant induits par le champ magnétique $H_{1/s}$ des coups consécutifs ($T_1 = 0,25 \mu\text{s}$), nous avons:

$$U_{oc/s/\max} = 5,04 \cdot b \cdot l \cdot H_{1/s/\max} \quad (\text{V}) \quad (\text{A.33})$$

$$I_{sc/s/\max} = 1,26 \cdot 10^{-6} b \cdot l \cdot H_{1/s/\max} / L \quad (\text{A}) \quad (\text{A.34})$$

où

$H_{1/f/\max}$ est la valeur maximale du champ magnétique dans la ZPF 1 due au premier coup (A/m);

$H_{1/s/\max}$ est la valeur maximale du champ magnétique dans la ZPF 1 due aux coups consécutifs (A/m).

A.4.3 Situation dans une ZPF 2 ou d'ordre supérieur

Le champ magnétique H_n dans la ZPF n pour $n \geq 2$ est supposé homogène (voir A.3.1.3).

Ainsi, les mêmes formules de calcul que celles données en A.3.1.2 sont applicables pour les tensions et courants induits, en remplaçant H_1 par H_n .

The voltage and current induced by the magnetic field $H_{1/s}$ of the subsequent strokes ($T_1 = 0,25 \mu\text{s}$) is given by:

$$U_{oc/s/\max} = 5,04 \cdot b \cdot l \cdot H_{1/s/\max} \quad (\text{V}) \quad (\text{A.33})$$

$$I_{sc/s/\max} = 1,26 \cdot 10^{-6} \cdot b \cdot l \cdot H_{1/s/\max} / L \quad (\text{A}) \quad (\text{A.34})$$

where

$H_{1/f/\max}$ is the maximum of the magnetic field inside LPZ 1 due to the first stroke in (A/m) ;

$H_{1/s/\max}$ maximum of the magnetic field inside LPZ 1 due to the subsequent strokes in (A/m).

A.4.3 Situation inside LPZ 2 and higher

The magnetic field H_n inside LPZ n for $n \geq 2$ is assumed to be homogeneous (see A.3.1.3).

Therefore the same formulae for the calculation of induced voltages and currents apply (A.3.1.2), where H_1 is substituted by H_n .

Annexe B (informative)

Amélioration des mesures de protection contre l'EMF dans des structures existantes

B.1 Liste des vérifications

Dans les structures existantes, des mesures de protection appropriées contre les effets de la foudre nécessitent la prise en compte de la construction et des conditions de la structure et des réseaux de puissance et de communication.

Une liste de vérifications facilite l'analyse du risque et le choix des méthodes de protection les plus appropriées.

Pour les structures existantes, une liste systématique est dressée pour la définition des zones, les mises à la terre, les équipotentialités, le cheminement et les écrans.

Il convient que la liste donnée dans les Tableaux B.1 à B.4 soit utilisée pour collationner les données de la structure existante et de ses installations. En se fondant sur ces données, une analyse du risque conformément à la CEI 62305-2 doit être effectuée pour déterminer la nécessité d'une protection et, dans ce cas, l'estimation des coûts des mesures à appliquer.

NOTE 1 Pour des informations complémentaires sur la protection contre les interférences électromagnétiques dans les bâtiments, voir la CEI 60364-4-44.

Tableau B.1 – Caractéristiques des structures et environnements

Points	Questions
1	Structures maçonnées, briques, bois, béton armé ou structures en acier, façade métallique?
2	Structure intégrée simple ou blocs interconnectés avec joints d'expansion?
3	Structure plate basse ou élevée? (dimensions de la structure)
4	Des barres armées sont-elles interconnectées à la structure?
5	Genre, type et qualité du matériau métallique de la toiture ?
6	Les façades métalliques sont-elles reliées à la liaison équipotentielle?
7	Les cadres métalliques des fenêtres sont-ils reliés à la liaison équipotentielle?
8	Dimensions des fenêtres?
9	La structure est-elle équipée d'un système extérieur de protection contre la foudre ?
10	Type et qualité du SPF extérieur?
11	Nature du sol (roche, argile)?
12	Dispositif de capture des structures adjacentes (hauteur, distance)?
NOTE Pour plus d'informations, voir la CEI 62305-2.	

Annex B (informative)

Implementation of LEMP protection measures for electronic systems in existing structures

B.1 Checklist

In existing structures suitable protection measures against lightning effects need to take into account the given construction and conditions of the structure and the existing electrical and electronic systems.

A checklist facilitates risk analysis and selection of the most suitable protection measures.

For existing structures in particular, a systematic layout should be established for the zoning concept and for earthing, bonding, line routing and shielding.

The checklist given in Tables B.1 to B.4 should be used to collect the required data of the existing structure and its installations. Based on this data, a risk assessment according to IEC 62305-2 shall be performed to determine the need for protection and, if so, to identify the most cost-effective protection measures to be used.

NOTE 1 For further information on protection against electromagnetic interferences (EMI) in building installations, see IEC 60364-4-44.

Table B.1 – Structural characteristics and surroundings

Item	Question
1	Masonry, bricks, wood, reinforced concrete, steel frame structures, metal facade?
2	One single structure or interconnected blocks with expansion joints?
3	Flat and low or high-rise structures? (dimensions of the structure)
4	Reinforcing rods electrically connected throughout the structure?
5	Kind, type and quality of metallic roof material?
6	Metal facades bonded?
7	Metal frames of the windows bonded?
8	Size of the windows?
9	Structure equipped with an external LPS?
10	Type and quality of this LPS?
11	Material of ground (rock, soil)?
12	Height, distance and earthing of adjacent structures?
NOTE For detailed information see IEC 62305-2.	

Tableau B.2 – Caractéristiques des installations

Points	Questions
1	Type de services entrants (enterrés ou aériens)?
2	Type d'aériens (antennes ou autres dispositifs externes)?
3	Type d'alimentation électrique (haute ou basse tension, enterrée ou aérienne)?
4	Cheminement des canalisations (nombre et emplacement des conduits)?
5	Utilisation de conduits métalliques?
6	Des équipements électroniques sont-ils intégrés dans la structure?
7	Connexions métalliques à d'autres structures?
NOTE Pour plus d'informations, voir la CEI 62305-2.	

Tableau B.3 – Caractéristiques des équipements

Points	Questions
1	Type de matériel informatique, liaisons (câbles multiconducteurs écrantés ou non, câbles coaxiaux, analogiques et/ou numériques, symétriques ou non, à fibre optique) ? (voir Note 1)
2	Les niveaux d'immunité contre les dommages de l'équipement sont-ils spécifiés ? (voir Notes 1 et 2)
NOTE 1 Pour plus d'informations, voir la CEI 62305-2.	
NOTE 2 Pour plus d'informations, voir l'UIT-T K.21, la CEI 61000-4-5, la CEI 61000-4-9 et la CEI 61000-4-10.	

Tableau B.4 – Autres questions nécessaires à considérer pour la détermination du concept de protection

Points	Questions
1	Schéma TN (TN-S ou TN-C), TT ou IT ?
2	Emplacement de l'équipement électronique ? (voir Note)
3	Où sont réalisées les interconnexions des conducteurs fonctionnels de l'électronique avec le réseau équipotentiel ?
NOTE Pour plus d'informations, voir l'Annexe A.	

B.2 Intégration des nouveaux réseaux électroniques dans une structure existante

Lors de l'ajout de nouveaux réseaux électroniques dans une structure existante, l'installation existante peut présenter des restrictions quant aux mesures de protection à utiliser.

La Figure B.1 montre un exemple d'installation existante (à gauche) interconnectée à une installation nouvelle (à droite). L'installation existante apporte des restrictions sur les mesures de protection pouvant être utilisées. Toutefois, la conception et la mise en œuvre de la nouvelle installation peut regrouper l'ensemble des mesures de protection.

Table B.2 – Installation characteristics

Item	Question
1	Type of incoming services (underground or overhead)?
2	Type of aerials (antennas or other external devices)?
3	Type of power supply (high voltage, low voltage, overhead or underground)?
4	Line routing (number and location of risers, cable ducts)?
5	Use of metal cable ducts?
6	Are the electronics self-contained within the structure?
7	Metal conductors to other structures?
NOTE For detailed information see IEC 62305-2.	

Table B.3 – Equipment characteristics

Item	Question
1	Type of electronic system interconnections (shielded or unshielded multicore cables, coaxial cable, analog and/or digital, balanced or unbalanced, fibre optic cables)? (see Note 1)
2	Withstand level of the electronic system specified? (see Notes 1 and 2)
NOTE 1 For detailed information see IEC 62305-2.	
NOTE 2 For detailed information see ITU-T K.21, IEC 61000-4-5, IEC 61000-4-9 and IEC 61000-4-10.	

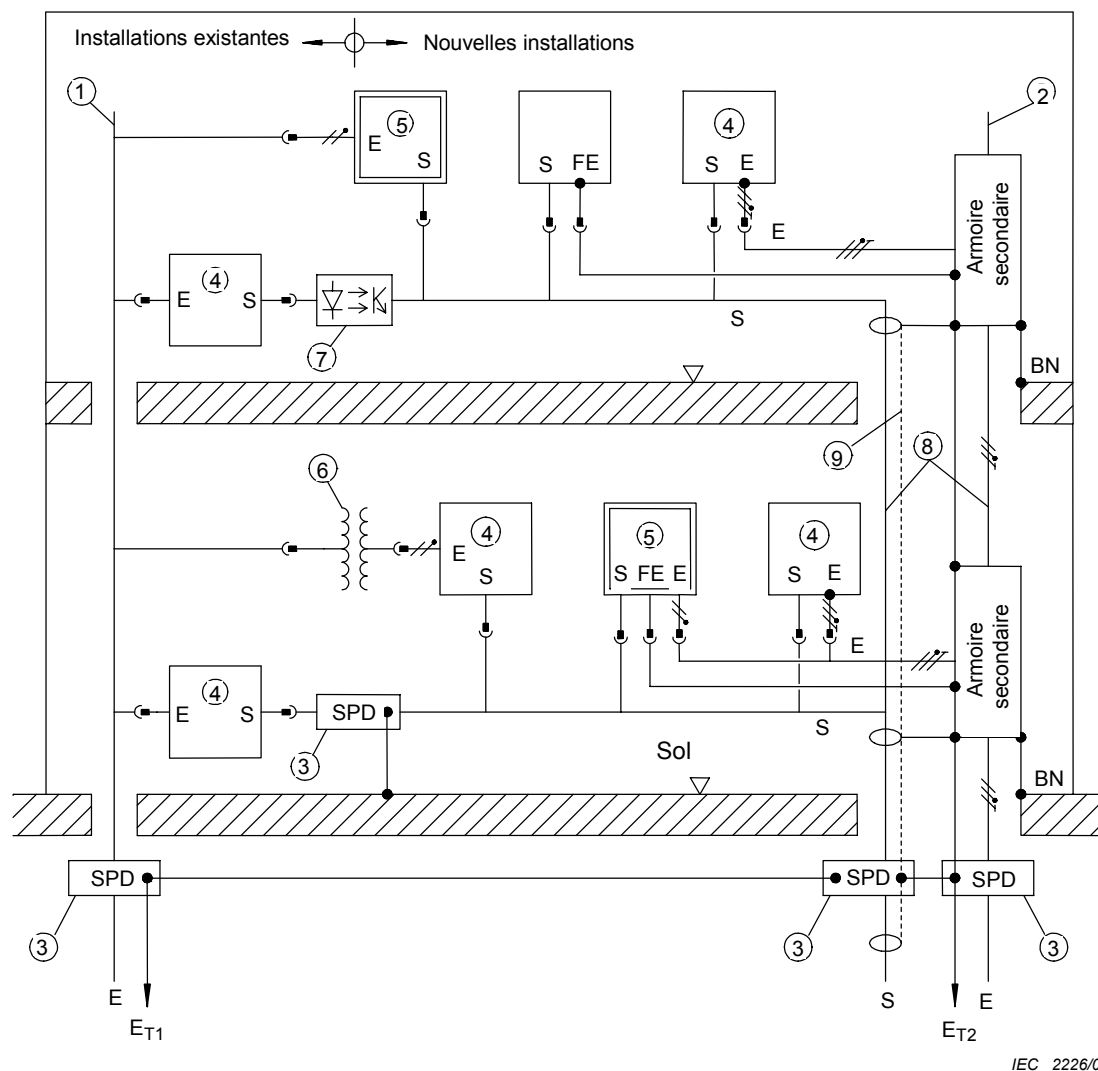
Table B.4 – Other questions to be considered for the protection concept

Item	Question
1	Configuration TN (TN-S or TN-C), TT or IT?
2	Location of the electronic equipment? (see Note)
3	Interconnections of functional earthing conductors of the electronic system with the bonding network?
NOTE For detailed information see Annex A.	

B.2 Integration of new electronic systems into existing structures

When adding new electronic systems to an existing structure, the existing installation might restrict the protection measures that can be employed.

Figure B.1 shows an example where an existing installation, shown on the left, is interconnected to a new installation, shown on the right. The existing installation has restrictions on the protection measures that can be employed. However design and planning of the new installation can allow for all necessary protection measures to be adopted.

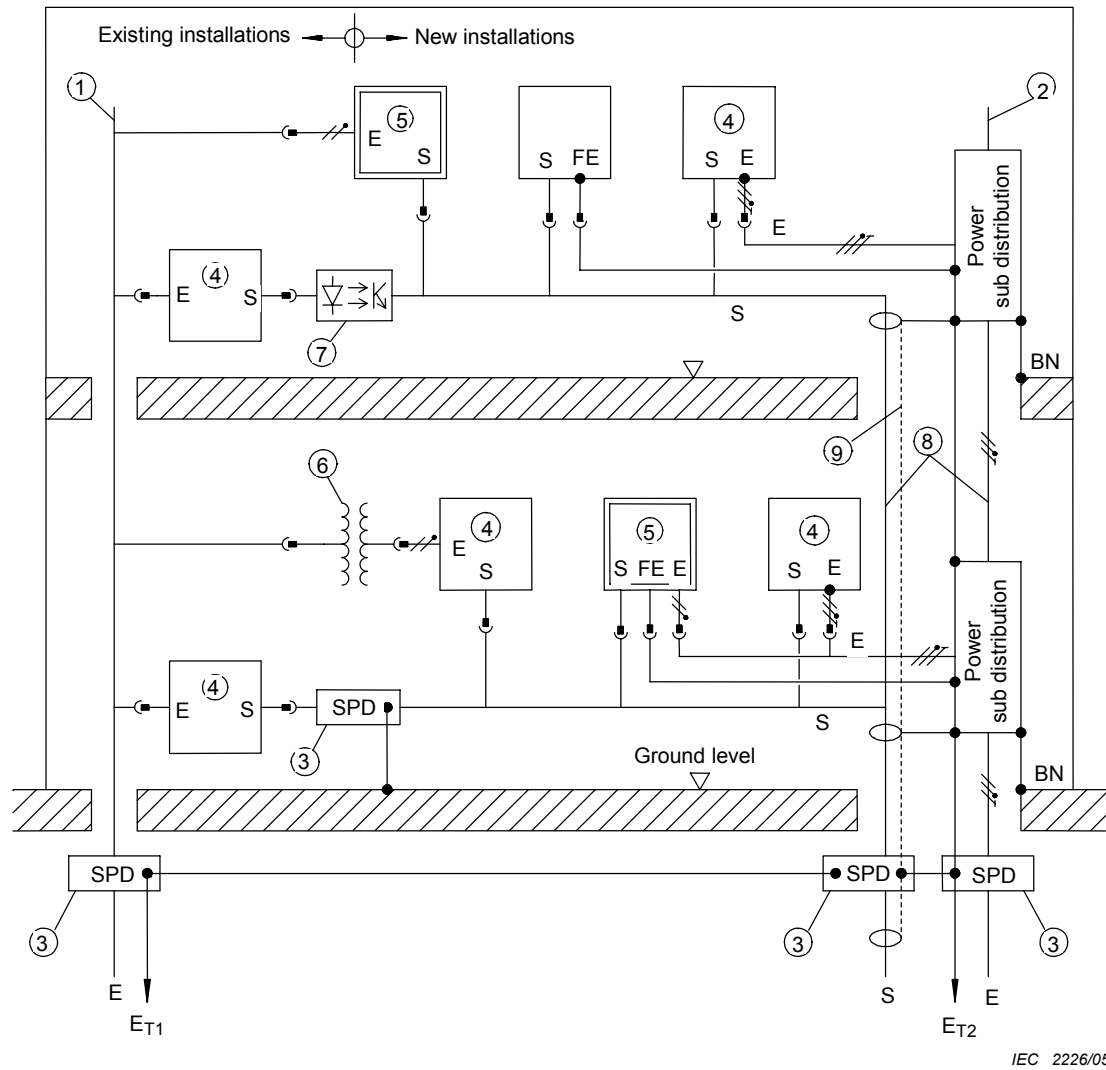


IEC 2226/05

Légende

- | | |
|---|--|
| 1 installations existantes (TN-C, TT, IT) | E lignes électriques |
| 2 nouvelles installations (TN-S, TN-CS, TT, IT) | S lignes de communication (avec ou sans écran) |
| 3 parafoudre (SPD) | ET prise de terre |
| 4 isolation normalisée de Classe I | BN réseau équipotentiel |
| 5 double isolation Classe II sans PE | PE conducteur de protection de terre |
| 6 transformateur d'isolement | FE conducteur de protection fonctionnel (éventuel) |
| 7 opto-coupleur ou câble à fibre optique | //// ligne à 3 conducteurs (L, N, PE) |
| 8 cheminement adjacent des réseaux de puissance et de communication | // ligne à 2 conducteurs (L, N) |
| 9 conduits avec écran | • points de mise à la terre (PE, FE, BN) |

Figure B.1 – Amélioration des mesures de protection contre l'IEMF et compatibilité électromagnétique dans des structures existantes

**Key**

- | | | | |
|---|---|-----|--|
| 1 | existing mains (TN-C,TT,IT) | E | electrical lines |
| 2 | new mains (TN-S,TN-CS,TT,IT) | S | signal lines (shielded or unshielded) |
| 3 | surge protective device (SPD) | ET | earth termination system |
| 4 | Class I standard isolation | BN | bonding network |
| 5 | Class II double isolation without PE | PE | protective earthing conductor |
| 6 | isolation transformer | FE | functional earthing conductor (if any) |
| 7 | opto-coupler or fibre optic cable | /// | 3-wire electrical line: L, N, PE |
| 8 | adjacent routing of electrical and signal lines | // | 2-wire electrical line: L, N |
| 9 | shielded cable ducts | • | bonding points (PE, FE, BN) |

Figure B.1 – Upgrading of LEMP protection measures and electromagnetic compatibility in existing structures

B.2.1 Synthèse des mesures de protection possibles

B.2.1.1 Alimentation

L'alimentation existante (voir Figure B.1, n°1) est souvent en schéma TN-C, pouvant générer des perturbations de fréquence. Ces perturbations peuvent être évitées par des interfaces isolantes (voir ci-dessous).

Si une nouvelle alimentation est installée (voir Figure B.1, n°2), le schéma TN-S est fortement recommandé.

B.2.1.2 Parafoudres

Pour contrôler les surtensions conduites dans les lignes, des parafoudres doivent être installés à l'entrée de toute SPF et éventuellement en amont des matériels à protéger (voir Figure B.1, n°3 et Figure B.2).

B.2.1.3 Interfaces isolantes

Pour éviter des interférences, des interfaces isolantes entre les matériels existants et neufs peuvent être utilisées: matériel de Classe II isolé (voir Figure B.1, n°5), transformateurs d'isolement (voir Figure B.1, n°6), câbles à fibre optique ou coupleurs optiques (voir Figure B.1, n°7).

B.2.1.4 Cheminement et blindage

Des grandes boucles dans le cheminement conduiraient à des tensions induites très élevées. Elles peuvent être évitées par des cheminements adjacents des réseaux de puissance et de communication (voir Figure B.1, n°8) pour minimiser les surfaces de boucles. Il est recommandé d'utiliser des câbles écrantés particulièrement pour des structures étendues avec écran, par exemple des câbles dans des conduits métalliques (voir Figure B.1, n°9) sont aussi recommandés. Tous les écrans doivent être mis à la terre à leurs deux extrémités.

Les mesures de cheminement et d'écran sont d'autant plus importantes que l'écran est faible dans la ZPF 1 et que la boucle est grande.

B.2.1.5 Ecran spatial

L'écran spatial d'une ZPF contre les champs électromagnétiques de foudre nécessite des mailles de largeurs inférieures à 5 m.

Une ZPF 1 est créée par une installation extérieure normale de protection contre la foudre conformément à la CEI 62305-3 (dispositif de capture, conducteurs de descente et prise de terre) dont les largeurs de mailles sont supérieures à 5 m. Ainsi, l'effet d'écran est négligeable. Si un écran plus effectif est requis, l'installation du SPF extérieur doit être améliorée (voir Article B.7).

La ZPF 1 et supérieure peuvent nécessiter un écran spatial protégeant les matériels électroniques sensibles non conformes aux exigences d'émission de radio fréquence et aux exigences d'immunité.

B.2.1.6 Equipotentialité

L'équipotentialité pour des courants de foudre de plusieurs MHz nécessite un réseau maillé de faible impédance de mailles inférieures à 5 m. Tous les services pénétrant dans une SPF doivent être mis à la terre directement ou par éclateur aussi près que possible de la frontière de la SPF.

Si, dans les structures existantes, ces conditions ne peuvent être satisfaites, d'autres mesures de protection doivent être prévues.

B.2.1 Overview of possible protection measures

B.2.1.1 Power supply

Existing mains supply (see Figure B.1, no.1) in the structure is very often of the type TN-C, which can cause power frequency interference. Such interference can be avoided by isolating interfaces (see below).

If a new mains supply (see Figure B.1, no.2) is installed, type TN-S is strongly recommended.

B.2.1.2 Surge protective devices

To control conducted surges on lines, SPDs shall be installed at the entry into any LPZ and possibly at the equipment to be protected (see Figure B.1, no.3 and Figure B.2).

B.2.1.3 Isolating interfaces

To avoid interferences, isolating interfaces between existing and new equipment can be used: Class II isolated equipment (see Figure B.1, no.5), isolation transformers (see Figure B.1, no.6), fibre optic cables or optical couplers (see Figure B.1, no.7).

B.2.1.4 Line routing and shielding

Large loops in line routing might lead to very high induced voltages or currents. These can be avoided by routing electrical and signal lines adjacent to each other (see Figure B.1, no.8), thereby minimizing the loop area. It is recommended to use shielded signal lines. For extended structures, additional shielding, for example by bonded metal cable ducts (see Figure B.1, no.9), is also recommended. All these shields shall be bonded at both ends.

Line routing and shielding measures become more important the smaller the shielding effectiveness of the spatial shield of LPZ 1, and the larger the loop area.

B.2.1.5 Spatial shielding

Spatial shielding of LPZ against lightning magnetic fields requires mesh widths typical less than 5 m.

An LPZ 1 created by a normal external LPS according to IEC 62305-3 (air-termination, down-conductor and earth-termination system) has mesh widths and typical distances greater than 5 m, resulting in negligible shielding effects. If higher shielding effectiveness is required, the external LPS shall be upgraded (see Clause B.7).

LPZ 1 and higher may require spatial shielding to protect electronic systems not complying with radiated radio frequency emission and immunity requirements.

B.2.1.6 Bonding

Equipotential bonding for lightning currents with frequencies up to several MHz requires a meshed low impedance bonding network having a typical mesh width of 5 m. All services entering a LPZ shall be bonded directly, or via suitable SPD, as close as possible to the boundary of the LPZ.

If, in existing structures, these conditions cannot be fulfilled, other suitable protective measures shall be provided.

B.2.2 Détermination des ZPF pour les réseaux de puissance et de communication

En fonction du nombre, du type et de la sensibilité des matériels électroniques, des ZPF intérieures appropriées sont définies, depuis des petites zones locales (enveloppe d'un simple matériel électronique) jusqu'à des zones importantes (pouvant s'étendre à la totalité du bâtiment).

La Figure B.2 montre le principe de ZPF typiques pour la protection des réseaux électroniques en donnant diverses solutions appropriées pour des structures existantes.

La Figure B.2a montre l'installation d'une simple ZPF 1, en créant un volume protégé dans l'ensemble de la structure, par exemple pour des réseaux électroniques assez robustes:

- Cette ZPF 1 peut être créée par un système de protection contre la foudre conforme à la CEI 62305-3, constitué par un système extérieur (dispositif de capture, conducteurs de descente et prise de terre) et par un système intérieur (équipotentialité de foudre et conformité avec les distances de sécurité).
- Le système extérieur protège la ZPF 1 contre les coups de foudre directs, mais le champ magnétique dans la ZPF 1 est peu atténué (largeur des mailles du dispositif de capture et des conducteurs de descente supérieure à 5 m). C'est pourquoi l'effet d'écran spatial est négligeable. Si le risque R_D de coup de foudre direct est très faible, le système extérieur de protection peut être omis.
- Le système de protection intérieur nécessite la mise à la terre de tous les services pénétrant dans la structure à la frontière de la ZPF 1, lequel intègre des parafoudres appropriés avec I_{imp} sur les réseaux de puissance et de communication. Cette disposition entraîne le contrôle par parafoudre des chocs conduits sur les services.

NOTE Les interfaces isolantes peuvent être utiles dans la ZPF 1 afin d'éviter des perturbations à basse fréquence.

B.2.2 Establishment of LPZ for electrical and electronic systems

Depending on the number, type and sensitivity of the electrical and electronic systems, suitable inner LPZ are defined, from small local zones (the enclosure of a single electronic equipment), up to large integral zones (the whole building volume).

Figure B.2 shows typical LPZ layout for the protection of electronic systems providing different solutions suitable, in particular for existing structures:

Figure B.2a shows the installation of a single LPZ 1, creating a protected volume inside the whole structure, e.g. for enhanced withstand voltage levels of the electronic systems:

- This LPZ 1 could be created using an LPS, according to IEC 62305-3, which consists of an external LPS (air-termination, down-conductor and earth-termination system) and an internal LPS (lightning equipotential bonding and compliance of the separation distances).
- The external LPS protects LPZ 1 against lightning flashes to the structure, but the magnetic field inside LPZ 1 remains nearly unattenuated. This is because air terminations and down-conductors have mesh widths and typical distances greater than 5 m, therefore the spatial shielding effect is negligible as explained above. If the risk R_D of lightning flashes to the structure is very low, the external LPS may be omitted.
- The internal LPS requires bonding of all services entering the structure at the boundary of LPZ 1, which includes the installation of tested with I_{imp} SPDs for all electrical and signal lines. This ensures that the conducted surges on the incoming services are limited at the entrance by SPDs.

NOTE Isolating interfaces could be useful inside LPZ 1 in order to avoid low-frequency interference.

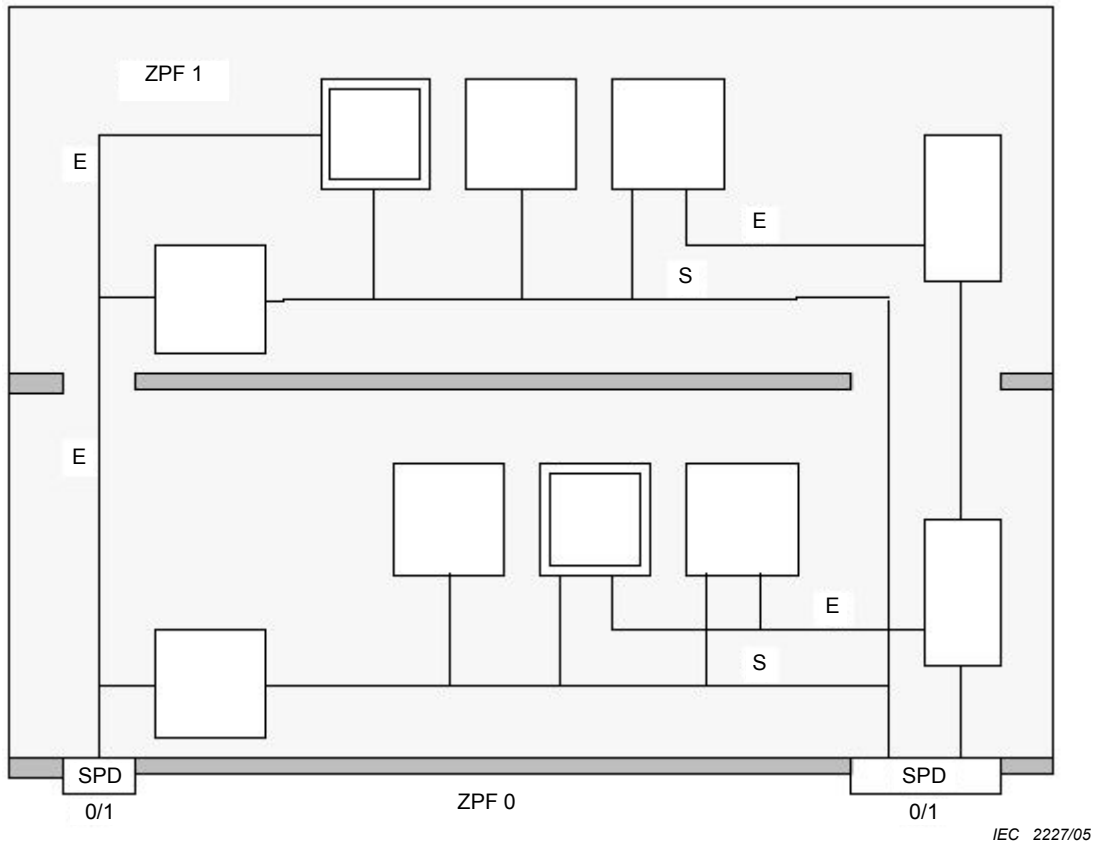
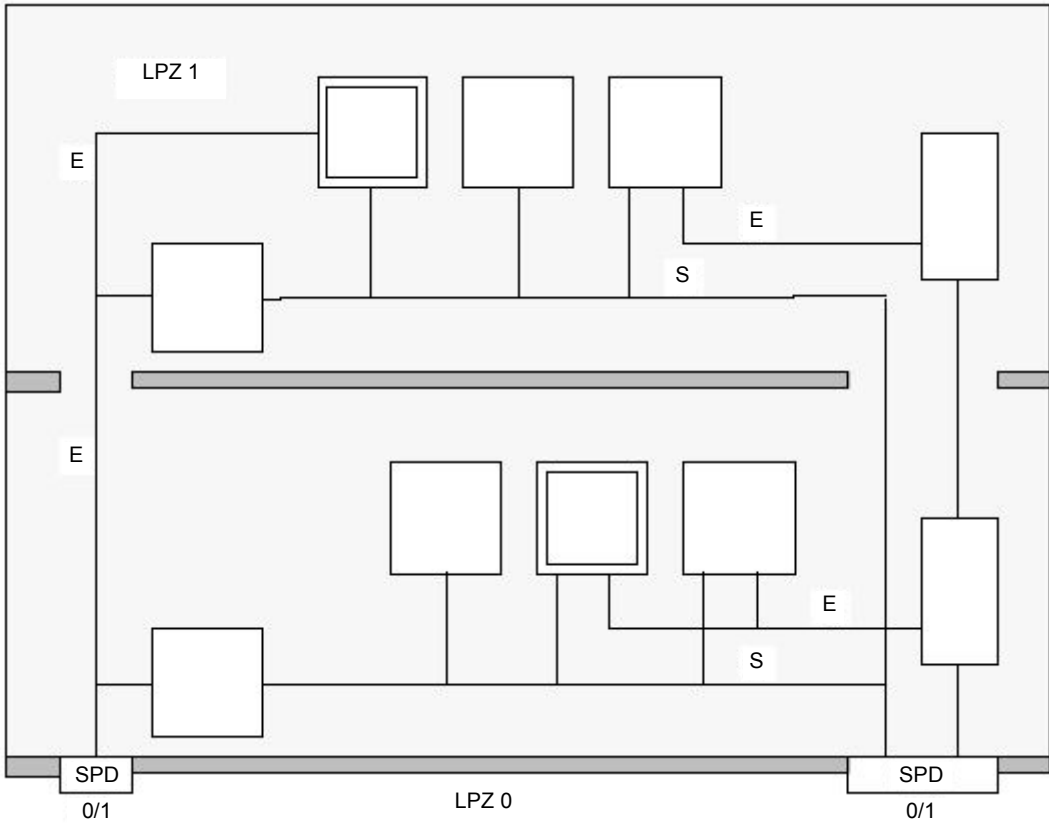


Figure B.2a – ZPF 1 non blindée utilisant un SPF et des parafoudres à l'entrée des réseaux dans la structure (par exemple pour une protection renforcée des réseaux ou pour de petites boucles dans la structure)



IEC 2227/05

Figure B.2a – Unshielded LPZ 1 using LPS and SPDs at the entrance of the lines into the structure (e.g. for enhanced withstand voltage level of the systems or for small loops inside the structure)

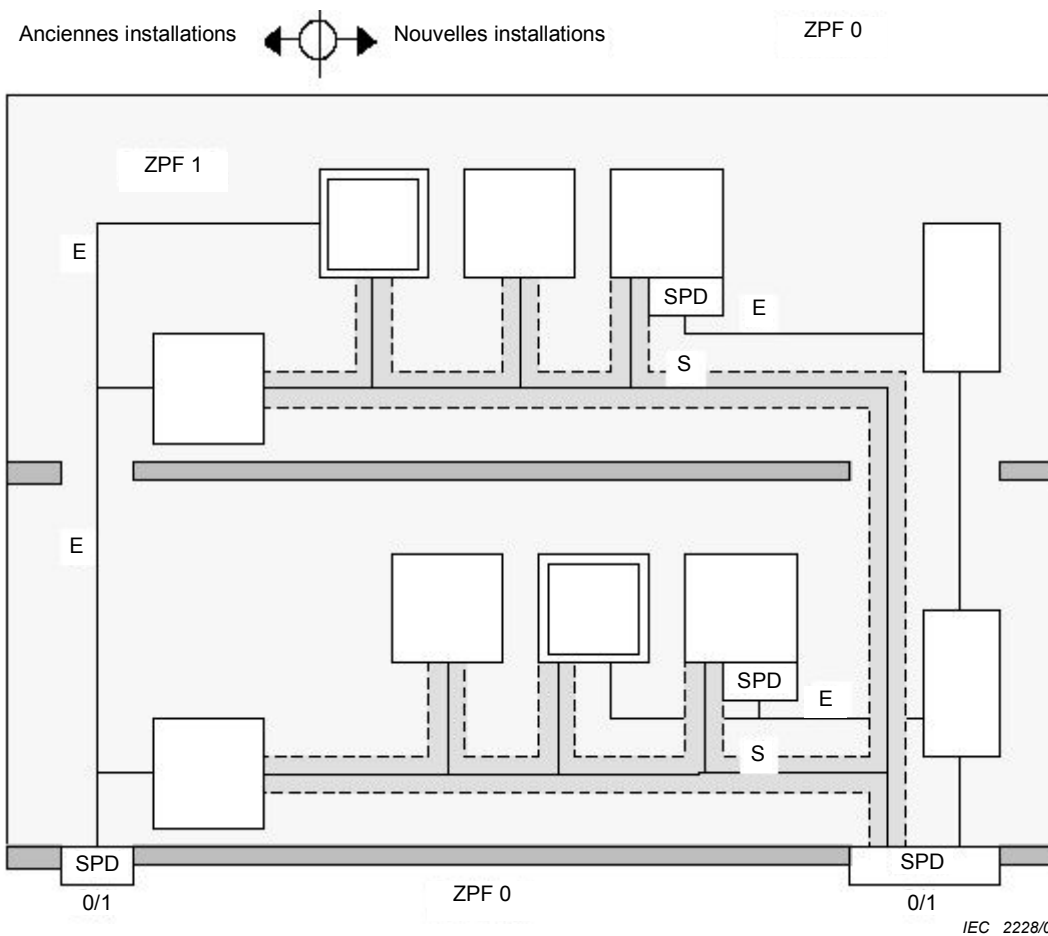


Figure B.2b – ZPF 1 non blindée avec une protection pour de nouveaux réseaux de communication écranés et des parafoudres coordonnés dans le réseau de puissance

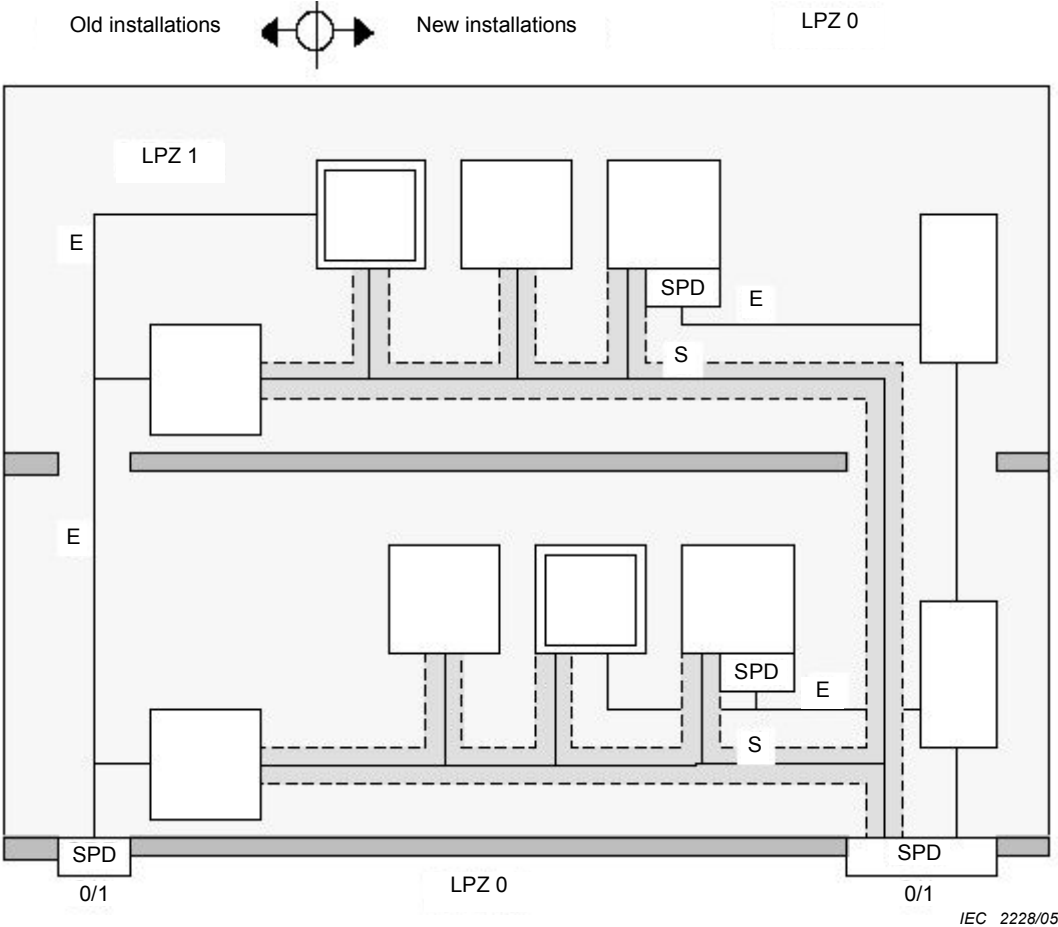


Figure B.2b – Unshielded LPZ 1 with protection for new electronic systems using shielded signal lines and coordinated SPDs in power lines

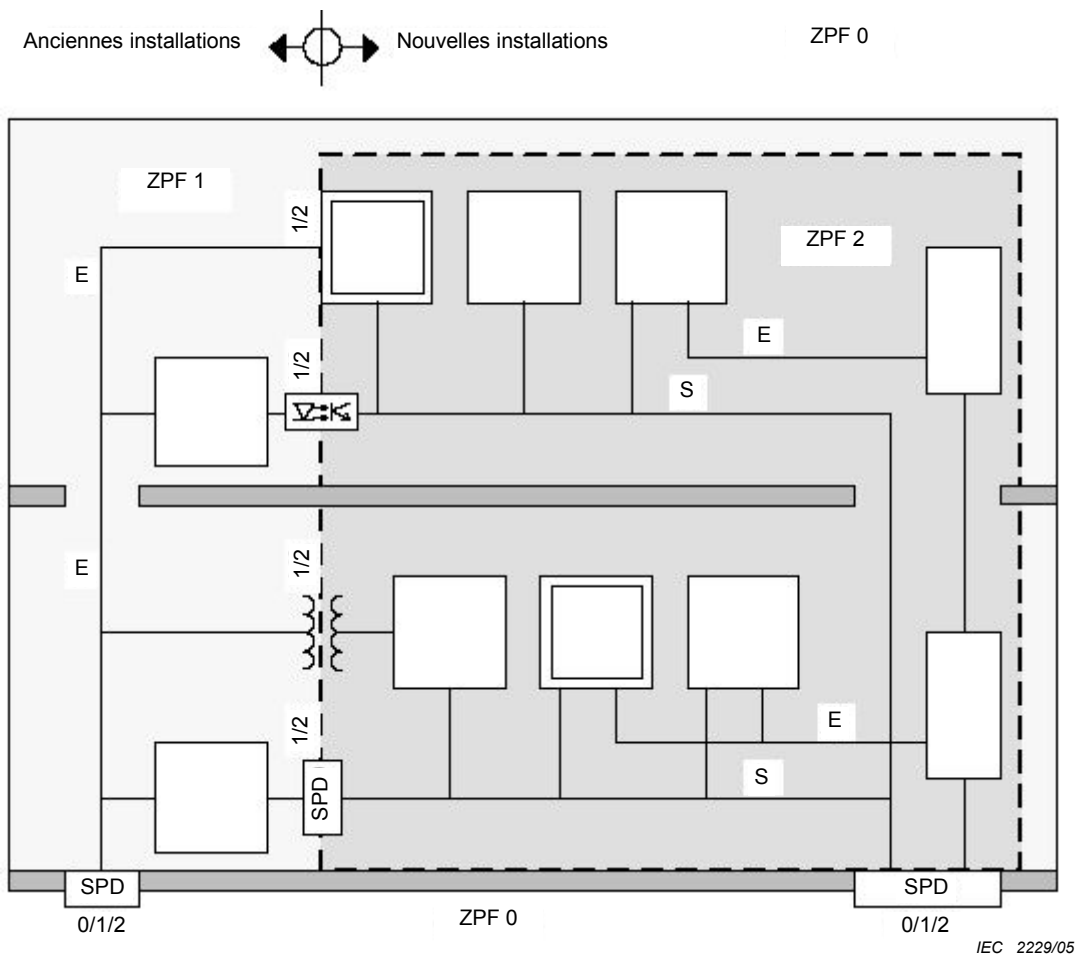


Figure B.2c – ZPF 1 non blindée et large écran de ZPF 2 pour de nouveaux réseaux de communication

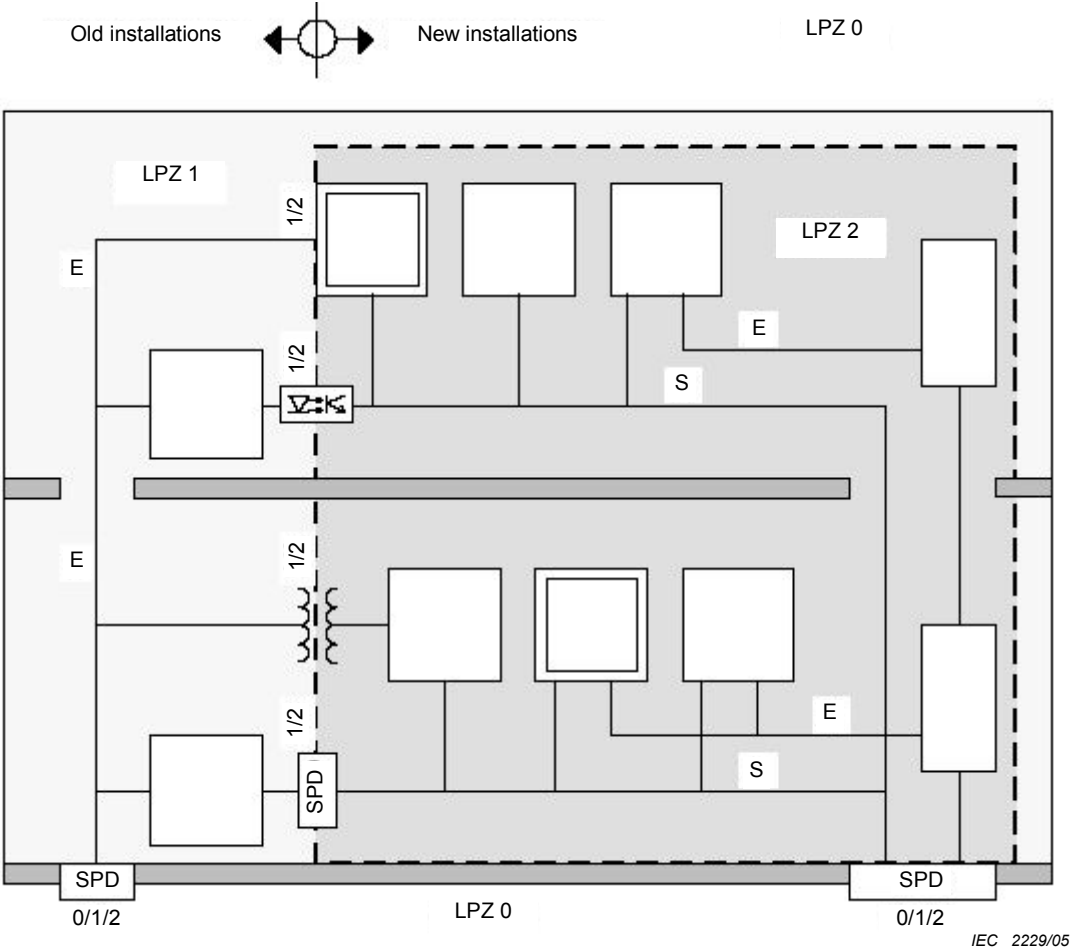


Figure B.2c – Unshielded LPZ 1 and large shielded LPZ 2 for new electronic systems

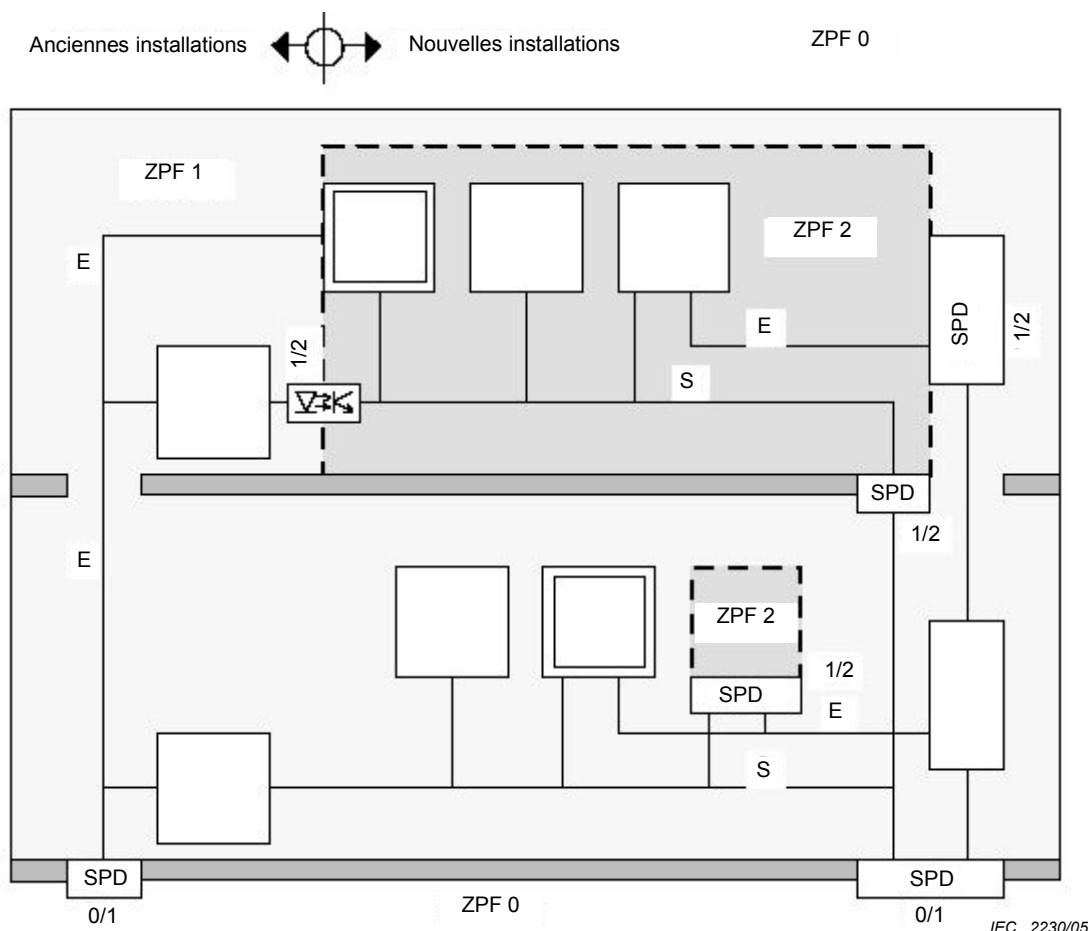


Figure B.2d – ZPF 1 non blindée et deux ZPF 2 locales pour de nouveaux réseaux de communication

Figures B.2 – Possibilités de création de ZPF dans des structures existantes

La Figure B.2b montre que dans une ZPF 1 non écranée, les nouveaux matériels doivent être protégés contre les chocs induits. Par exemple, le réseau de communication peut être protégé par des câbles écranés et le réseau de puissance par une protection coordonnée. Cela peut nécessiter des parafoudres testés sous I_n ou sous onde combinée, installés à proximité des matériels et coordonnés avec les parafoudres à l'origine du réseau. Cela peut aussi nécessiter une isolation supplémentaire de Classe II pour les matériels.

La Figure B.2c montre l'installation d'une grande ZPF 2 dans une ZPF 1 pour s'adapter aux nouveaux réseaux de communication. L'écran spatial en grille de ZPF 2 assure une atténuation significative du champ magnétique de foudre. Du côté gauche, des parafoudres placés à la frontière de la ZPF 1 (transition ZPF 0/1) et, par la suite à la frontière de la ZPF 2 (transition de ZPF 1/2) doivent être coordonnés conformément à l'Annexe C. Du côté droit, les parafoudres à l'entrée de la ZPF 1 doivent être choisis pour une transition directe des ZPF 0/1/2 (voir C.3.4).

La Figure B.2d montre l'installation de deux ZPF 2 de plus petites dimensions à l'intérieur de la ZPF 1. Des parafoudres complémentaires sur les réseaux de puissance et de communication doivent être installés à la frontière de chaque ZPF 2. Ces parafoudres doivent être coordonnés avec les parafoudres à la frontière de la ZPF 1 conformément à l'Annexe C.

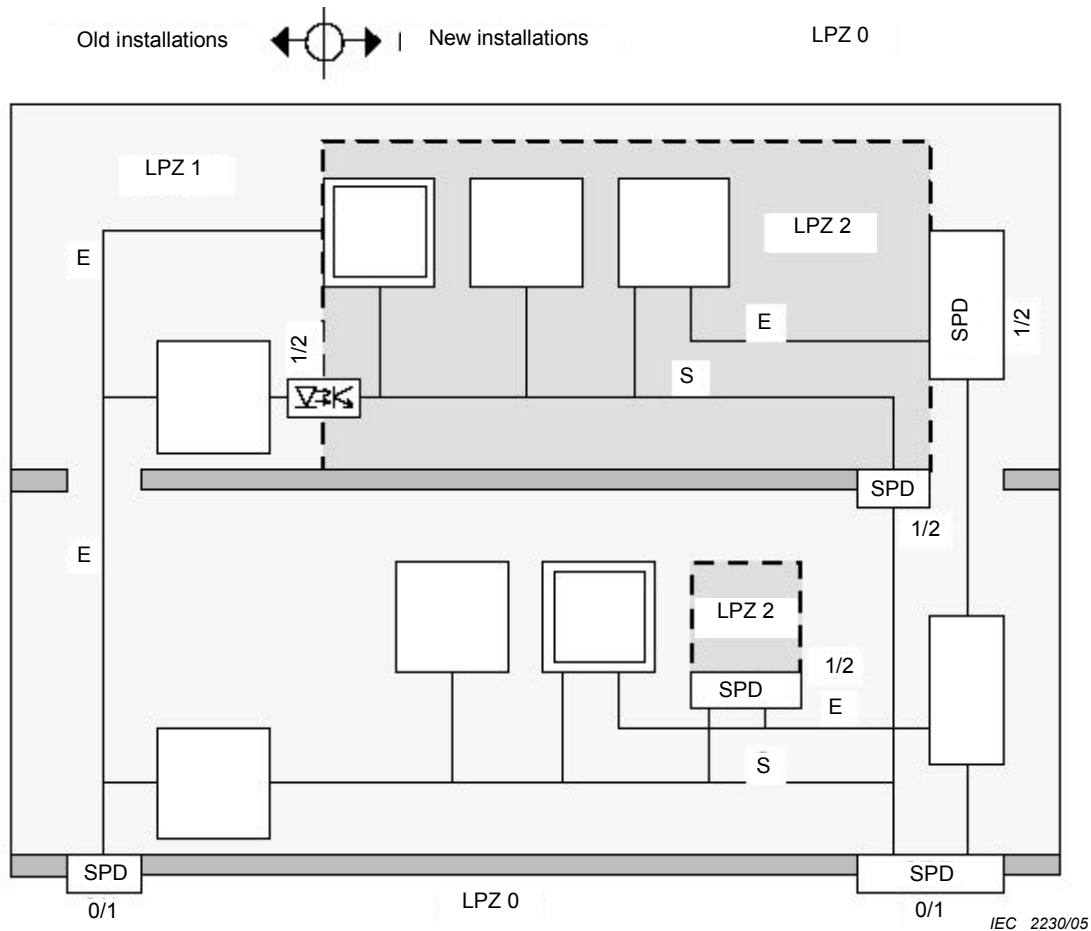


Figure B.2d – Unshielded LPZ 1 and two local LPZ 2 for new electronic systems

Figure B.2 – Possibilities to establish LPZs in existing structures

Figure B.2b shows that in an unshielded LPZ 1, new apparatus also needs to be protected against conducted surges. As an example, the signal lines can be protected using shielded cables and the power lines using a coordinated SPD protection. This may require additional SPDs tested with I_n and SPDs tested with a combination wave, installed close to the equipment, and coordinated with the SPDs at service entrance. It may also require additional Class II double isolation of the equipment.

Figure B.2c shows the installation of a large integral LPZ 2 inside of LPZ 1, to accommodate the new electronic systems. The grid-like spatial shield of LPZ 2 provides a significant attenuation of the lightning magnetic field. On the left hand side, the SPDs installed at the boundary of LPZ 1 (transition LPZ 0/1) and subsequently at the boundary of LPZ 2 (transition LPZ 1/2), shall be coordinated according to Annex C. On the right hand side, the SPDs installed at the boundary of LPZ 1 shall be selected for a direct transition LPZ 0/1/2 (see C.3.4).

Figure B.2d shows the installation of two smaller LPZ 2 inside of LPZ 1. Additional SPDs for power as well as for signal lines at the boundary of each LPZ 2 shall be installed. These SPDs shall be coordinated with the SPDs at the boundary of LPZ 1 according to Annex C.

B.3 Amélioration de l'alimentation et de la mise en œuvre des câbles dans la structure

Les alimentations existantes de structures anciennes (voir Figure B.1, n°1) sont souvent réalisées en schéma TN-C. Les conducteurs PEN circulent dans la structure et peuvent entraîner des interférences 50/60 Hz s'ils sont connectés aux lignes de données mises à la terre. Afin d'éviter de telles interférences, deux possibilités sont offertes:

- des interfaces isolantes utilisant des matériels de Classe II ou des transformateurs à double isolation. Cela peut être une solution si peu de matériels électroniques sont utilisés (voir Article B.5);
- changement du système en alimentation en schéma TN-S (voir Figure B.1, n°2), solution recommandée spécialement pour des matériels électroniques de grande envergure.

Les exigences de mise à la terre, d'équipotentialité et de cheminement doivent être satisfaites.

B.4 Protection par parafoudres

Pour le contrôle des surtensions conduites par les lignes, des parafoudres tels que définis à l'Annexe C doivent être installés à l'entrée de toute SPF intérieure (voir Figure B.1, n°3 et Figure B.2). Ils doivent être coordonnés conformément à l'Annexe C.

Dans des bâtiments, une cascade non coordonnée de parafoudres peut créer des dysfonctionnements ou des dommages sur le réseau de communication, particulièrement si le parafoudre dans le matériel n'est pas coordonné avec celui à l'entrée du bâtiment.

Afin de maintenir la qualité des mesures de protection choisies, il est nécessaire d'établir un plan d'installation des parafoudres.

B.5 Protection par interfaces isolantes

Les courants de perturbation à fréquence industrielle dans les matériels et leurs câbles associés peuvent être dus soit à des boucles de grande surface ou à une installation de mise à la terre d'impédance trop élevée. Pour éviter ces perturbations (essentiellement en schéma TN-C), la séparation entre installations neuves et celles déjà existantes peut être réalisée par des interfaces isolantes telles que:

- matériels isolés de Classe II (c'est-à-dire double isolation sans conducteur PE),
- transformateurs d'isolement,
- câbles non métalliques à fibre optique,
- coupleurs optiques.

Pour les interfaces isolantes utilisées contre les surtensions induites, une tenue supérieure est exigée. Une tenue typique de 5 kV en onde 1,2/50 est correcte. La protection de telles interfaces contre des surtensions plus élevées, si nécessaire, doit être réalisée par parafoudres. Le niveau de protection de tension U_p de ces parafoudres doit être sélectionné pour une tension de tenue à peine inférieure à celle de l'interface d'isolement. Un niveau plus bas de U_p ne respecterait pas les exigences de sécurité.

NOTE Il convient de vérifier attentivement que les enveloppes métalliques ne présentent pas de connexion accidentelle galvanique avec la terre ou des parties métalliques dont il faut qu'elles soient isolées. Cela correspond au cas général car les matériels électroniques de bureau (ou domestiques) sont connectés à la terre par les seuls câbles de connexion.

B.3 Upgrading a power supply and cable installation inside the structure

The power distribution system in older structures (see Figure B.1, no.1) is very often TN-C. Interference at 50/60 Hz arising from the connection of earthed signal lines with the PEN conductors, can be avoided by:

- isolating interfaces using Class II electrical equipment or double insulated transformers. This can be a solution if there are only few electronic equipment (see Clause B.5);
- changing the power distribution system to a TN-S (see Figure B.1 no 2). This is the recommended solution, especially for extensive systems of electronic equipment.

The requirements of earthing, bonding and line routing shall be fulfilled.

B.4 Protection by surge protective devices

To limit conducted surges on electrical lines due to lightning, SPDs shall be installed at the entry of any inner LPZ (see Figure B.1, no.3 and Figure B.2). Such SPDs shall be coordinated as detailed in Annex C.

In buildings with uncoordinated SPDs, damage to the electronic system may result if a downstream SPD, or an SPD within the equipment, prevents the proper operation of the SPD at the service entrance.

In order to maintain the effectiveness of the protection measures adopted, it is necessary to document the location of all installed SPDs.

B.5 Protection by isolating interfaces

Power frequency interference currents through the equipment and its connected signal lines can be caused by large loops or the lack of a sufficiently low impedance bonding network. To prevent such interference (mainly in TN-C installations), a suitable separation between existing and new installations can be achieved using isolating interfaces, such as:

- Class II isolated equipment (i.e. double isolation without a PE-conductor),
- isolation transformers,
- metal-free fibre optic cables,
- optical couplers.

For isolating interfaces used to avoid lightning induced overvoltages, an enhanced withstand voltage is required. A typical withstand voltage of 5 kV for a 1,2/50 waveshape is required. Protection of such interfaces against higher overvoltages, where needed, may be achieved using SPDs. The voltage protection levels U_p of these SPDs needs to be selected to be only slightly below the withstand voltage of the isolating interface. A lower U_p may violate safety requirements.

NOTE Care should be taken that metal equipment enclosures do not have an unintended galvanic connection to the bonding network or to other metal parts, but must be isolated. This is the situation in most cases, since electronic equipment installed in domestic rooms or offices is linked to the earth reference through connection cables only.

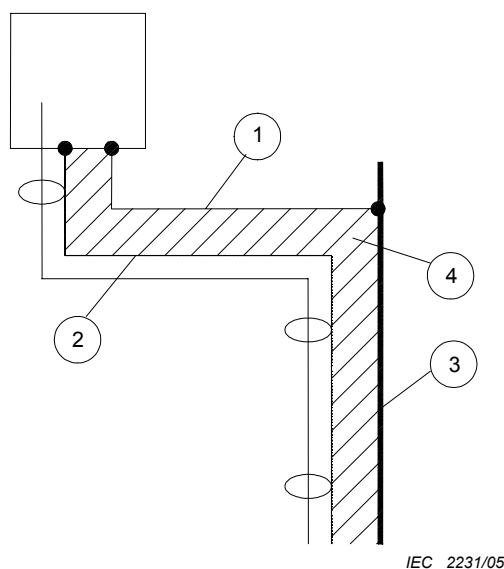
B.6 Mesures de protection par cheminement et par écran

Un cheminement approprié et un écran sont des mesures de protection efficaces contre les surtensions. Ces mesures sont particulièrement importantes si l'efficacité de l'écran spatial de la ZPF 1 est négligeable. Dans ce cas, les principes suivants apportent une protection améliorée:

- diminution des surfaces de boucle d'induction;
- il convient que l'alimentation de nouveaux matériels par des canalisations existantes soit évitée car cela créerait des boucles d'induction de grande surface et des risques de défaillance des isolations. De plus, des cheminements adjacents de réseaux de puissance et de communication peuvent éviter de larges boucles (voir Figure B.1, n°8);
- utilisation de câbles écrantés. Il est recommandé de mettre en œuvre des réseaux de communication écrantés mis à la terre à leurs deux extrémités;
- utilisation de conduits métalliques ou de plaques métalliques mises à la terre. Il convient que les parties séparées des sections métalliques présentent une bonne continuité électrique et que les connexions soient faites par recouvrement ou par des conducteurs. Afin de maintenir une impédance faible du câble, des vis multiples ou des bandes doivent être distribuées à la périphérie du conduit (voir la CEI 61000-5-2).

Des exemples de techniques de cheminement et d'écran corrects sont présentés dans les Figures B.3 et B.4.

NOTE Si la distance entre les lignes de communication et le matériel électronique dans les zones générales (non désignées particulièrement pour la communication) est supérieure à 10 m, il est recommandé d'utiliser des lignes d'équilibrage avec des ports suffisamment isolés, par exemple coupleurs optiques, transformateurs d'isolation ou amplificateurs. De plus, l'utilisation de câbles tripolaires peut être avantageuse.



Légende

- 1 PE seulement si des matériels de Classe I sont utilisés
- 2 l'écran éventuel du câble doit être mis à la terre à ses deux extrémités
- 3 panneau métallique comme écran complémentaire (voir Figure B.4)
- 4 boucle de petites dimensions

NOTE En raison des petites dimensions de la boucle, la tension induite entre l'écran du câble et le panneau métallique est faible.

Figure B.3 – Réduction des dimensions de la boucle en utilisant des câbles écrantés proches d'un panneau métallique

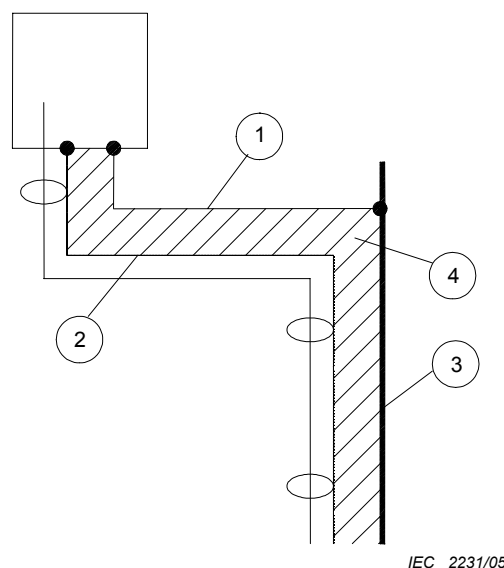
B.6 Protection measures by line routing and shielding

Suitable line routing and shielding are effective measures to reduce induced overvoltages. These measures are especially important, if the spatial shielding effectiveness of LPZ 1 is negligible. In this case, the following principles provide improved protection:

- minimizing the induction loop area;
- powering new equipment from the existing mains should be avoided, because it creates a large enclosed induction loop area, which will significantly increase the risk of isolation damage. Furthermore, routing electrical and signal lines adjacent to one another can avoid large loops (see Figure B.1, no.8);
- using shielded cables – the shields of these signal lines should at least be bonded at either end.
- using metal cable ducts or bonded metal plates – the separate metal sections should be electrically well interconnected. The connections should be performed by bolting the overlapping parts or by using bonding conductors. In order to keep the impedance of the cable duct low, multiple screws or strips should be distributed over the perimeter of the cable duct (see IEC 61000-5-2).

Examples of good line routing and shielding techniques are given in Figures B.3 and B.4.

NOTE Where the distance between signal lines and electronic equipment within general areas (which are not specifically designated for electronic systems) is greater than 10 m, it is recommended to use balanced signal lines with suitable galvanic isolation ports, e.g. optical couplers, signal isolation transformers or isolation amplifiers. In addition, the use of triaxial cables can be advantageous.

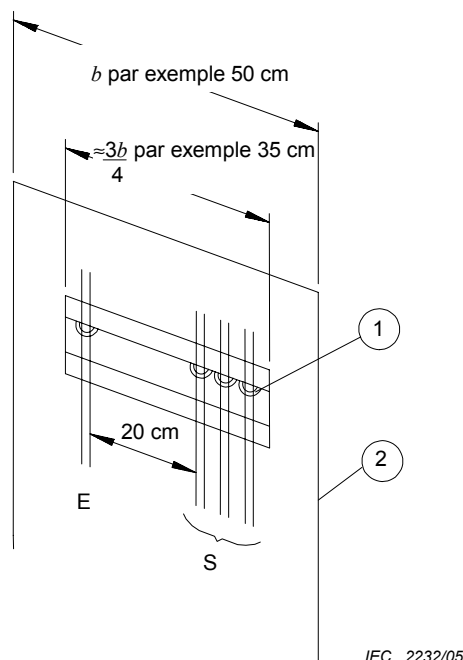


Key

- 1 PE, only when Class I equipment is used
- 2 optional cable shield needs to be bonded at both ends
- 3 metal plate as additional shield (see Figure B.4)
- 4 small loop area

NOTE Owing to the small loop area, the induced voltage between the cable shield and the metal plate is small.

Figure B.3 – Reduction of loop area using shielded cables close to a metal plate



Légende

- 1 fixation du câble avec ou sans connexion des écrans du câble au panneau
- 2 sur les bords, le champ magnétique est supérieur à celui du milieu du panneau
- E lignes de puissance
- S lignes de communication

Figure B.4 – Exemple de panneau métallique utilisé comme écran complémentaire

B.7 Amélioration d’un système de protection contre la foudre (SPF) existant utilisant l’écran spatial de ZPF 1

Le SPF existant peut être amélioré conformément à la CEI 62305-3 autour de la ZPF 1 par

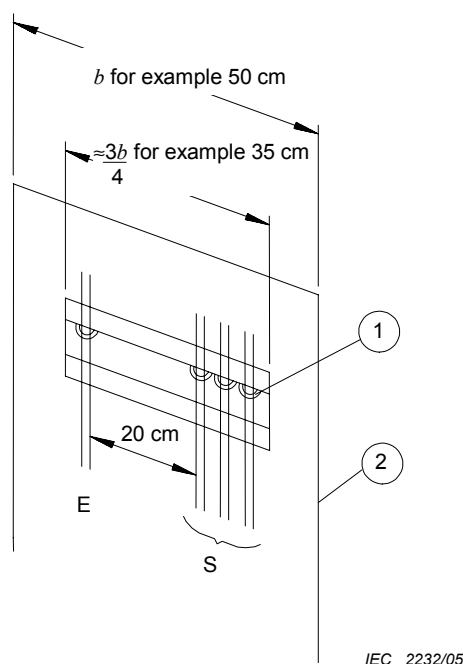
- l’intégration des façades et toitures métalliques existantes dans le SPF extérieur,
- l’utilisation des armatures du béton de la toiture et des façades pour la mise à la terre si la continuité de la mise à la terre peut être assurée,
- la réduction des écarts entre conducteurs de descente et des mailles du dispositif de capture de taille typique de 5 m,
- l’installation de conducteurs souples pour les joints d’expansion entre des blocs adjacents et séparés.

B.8 Protection par équipotentialité

Les prises de terre existantes peuvent ne pas donner satisfaction pour des courants de foudre de fréquence de plusieurs MHz, car leur impédance est trop élevée à ces fréquences.

Même un SPF conforme à la CEI 62305-3 permettant des mailles de largeur supérieure à 5 m avec équipotentialité telle que prescrite peut être insuffisant pour des matériels électroniques sensibles. Cela en raison de l’impédance de cette équipotentialité pouvant être trop élevée pour cette application.

Une basse impédance de cette équipotentialité avec un maillage typique de 5 m de largeur ou en dessous est fortement recommandé.



Key

- 1 cable fixing with or without bonding of cable shields to the plate
- 2 at edges, the magnetic field is higher than in the middle of the plate
- E electrical lines
- S signal lines

Figure B.4 – Example of a metal plate for additional shielding

B.7 Improvement of an existing LPS using spatial shielding of LPZ 1

An existing LPS (according to IEC 62305-3) around LPZ 1 can be improved by

- integrating existing metal facades and metal roofs into the external LPS,
- using the reinforcing bars (which are electrically continuous from the upper roof to the earth termination system) of the structure,
- reducing the spacing of the down conductors and reducing the mesh size of the air termination system to typically below 5 m,
- installation of flexible bonding conductors across the expansion joints between adjacent, but structurally separated, reinforced blocks.

B.8 Protection using a bonding network

Existing power frequency earthing systems might not provide a satisfactory equipotential plane for lightning currents with frequencies up to several MHz, because their impedance may be too high at these frequencies.

Even an LPS designed in accordance with IEC 62305-3, which allows mesh widths typically greater than 5 m, and which includes lightning equipotential bonding as a mandatory part of the internal LPS, might not be sufficient for sensitive electronic systems. This is because the impedance of this bonding system may still be too high for this application.

A low impedance bonding network with typical mesh width of 5 m and below is strongly recommended.

Généralement, il est recommandé que le réseau de mise à la terre ne serve pas de conducteur de retour de puissance ou de communication. Pour cette raison, le conducteur PE doit être incorporé dans la mise à la terre, mais le PEN ne doit pas l'être.

Une liaison directe d'un conducteur de protection fonctionnelle (par exemple terre propre d'un réseau électronique) est permise si la terre est d'impédance faible, car le couplage interférentiel dans les réseaux sera très faible. Aucune liaison directe entre le conducteur PEN et toute partie métallique n'est permise, afin d'éviter des perturbations dans le réseau électronique.

B.9 Mesures de protection pour des matériels placés à l'extérieur

Des exemples d'équipements concernés sont des capteurs de tous types installés à l'extérieur comprenant des aériens, des capteurs météorologiques, des caméras vidéo de surveillance, des capteurs sur des usines (pression, température, débit, position de vanne, etc.) et tout autre équipement électrique, électronique ou radio situés à l'extérieur sur des structures, des mâts et citernes.

B.9.1 Protection des matériels extérieurs

Autant que possible, il convient qu'un dispositif de capture soit placé de manière à protéger l'équipement contre les coups de foudre directs à l'intérieur de la ZPF 0_B (voir Figure B.5).

In general the bonding network should not be used either as a power, or signal, return path. Therefore the PE conductor shall be integrated into the bonding network, but the PEN conductor shall not.

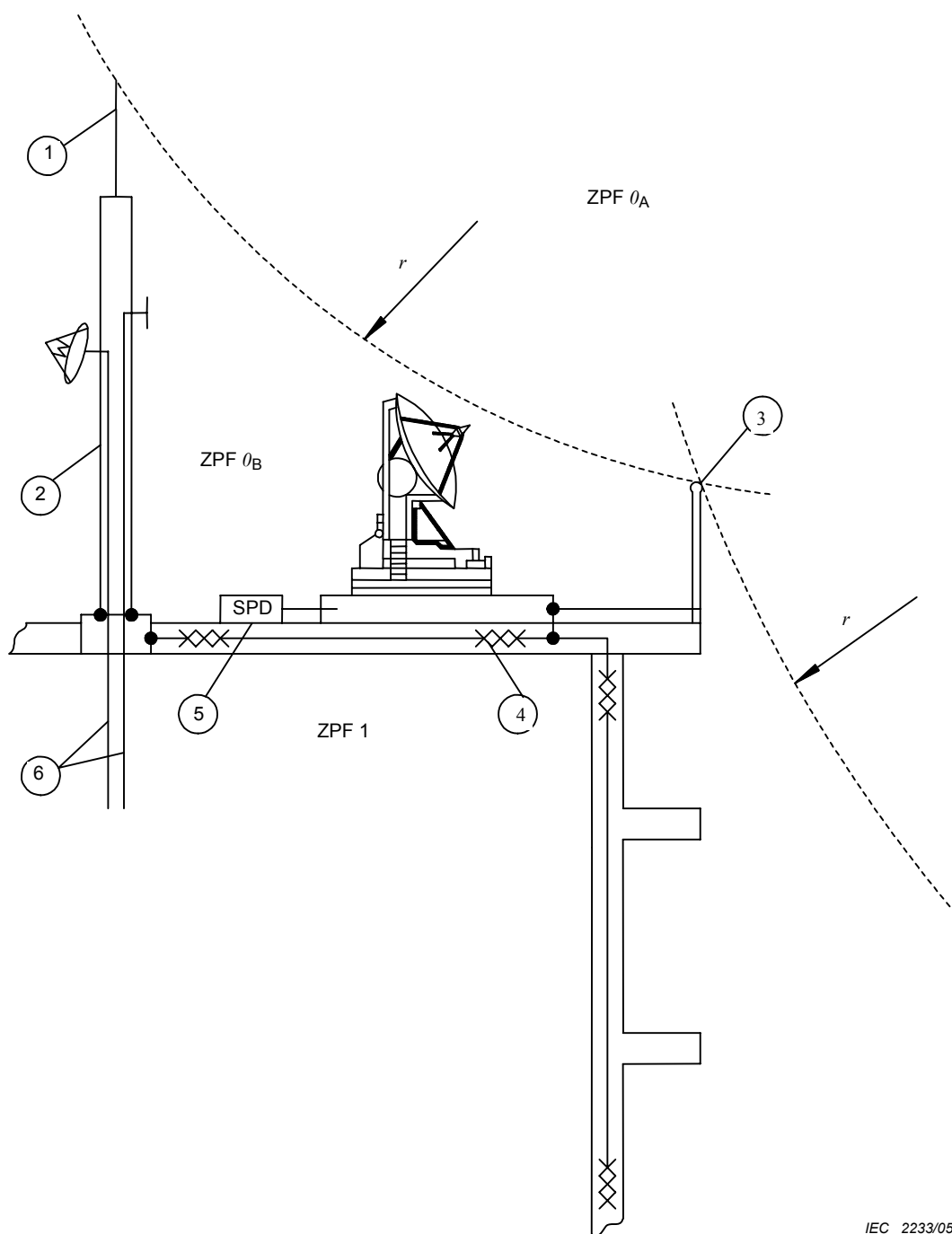
Direct bonding of a functional earthing conductor (e.g. a clean earth specific to an electronic system) to the low impedance bonding network is allowed, because in this case the interference coupling into electrical or signal lines will be very low. No direct bonding is allowed to the PEN conductor, or to other metal parts connected to it, so as to avoid power frequency interference in the electronic system.

B.9 Protection measures for externally installed equipment

Examples of externally installed equipment are: sensors of any kind including aerials, meteorological sensors, surveillance TV cameras, exposed sensors on process plants (pressure, temperature, flow rate, valve position, etc.) and any other electrical, electronic or radio equipment on external positions on structures, masts and process vessels.

B.9.1 Protection of the external equipment

Wherever possible, the equipment should be brought under the protective zone LPZ 0_B using for example a local air terminal to protect it against direct lightning flashes (see Figure B.5).

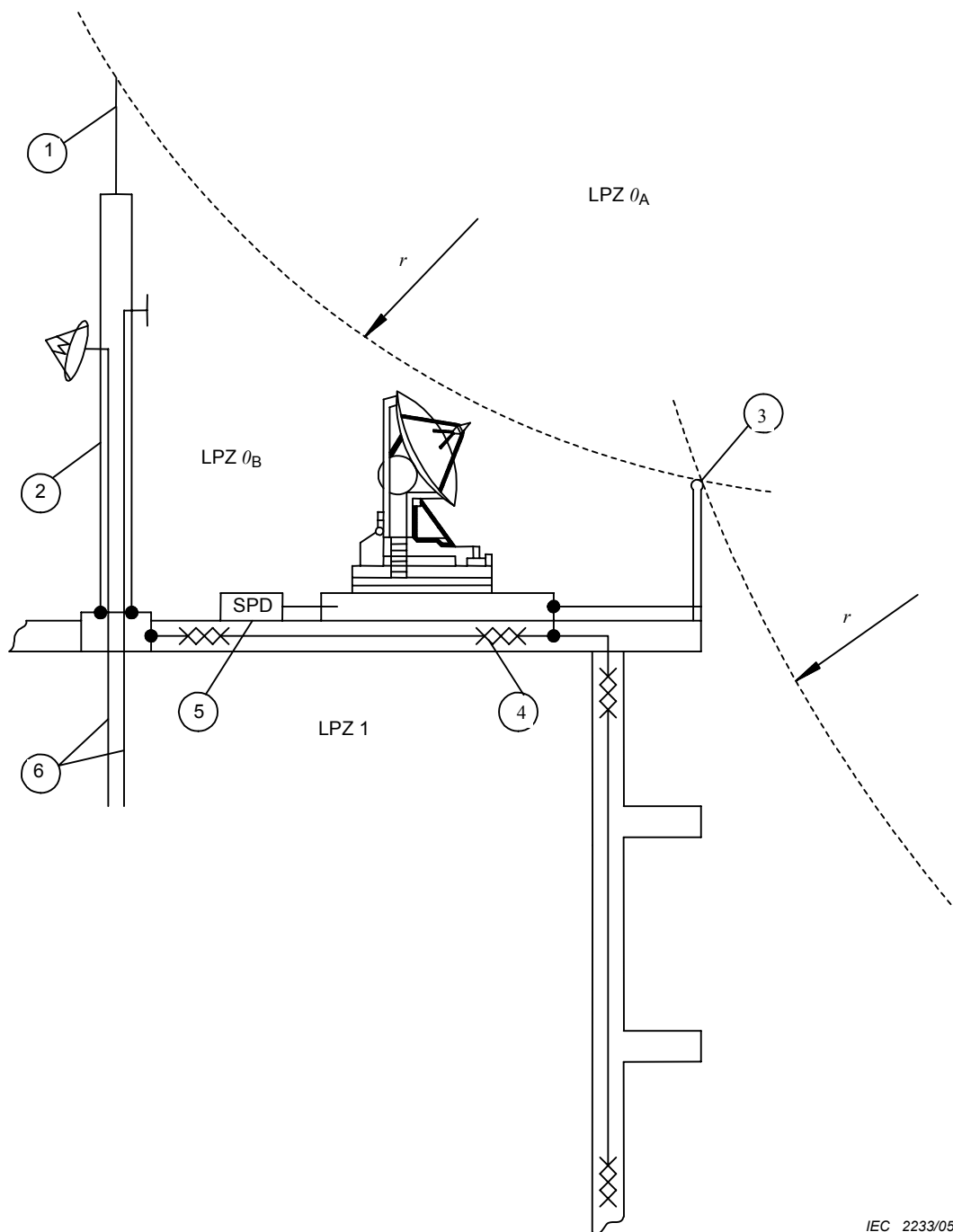


IEC 2233/05

Légende

- 1 tige de captation
- 2 mât en acier avec antennes
- 3 rambardes
- 4 armatures interconnectées
- 5 ligne issue de ZPF 0_B nécessitant un parafoudre en entrée
- 6 ligne issue de ZPF 1 (interne au mât) ne nécessitant pas un parafoudre en entrée
- r* rayon de la sphère fictive

Figure B.5 – Protection d’antennes et autres équipements externes



IEC 2233/05

Key

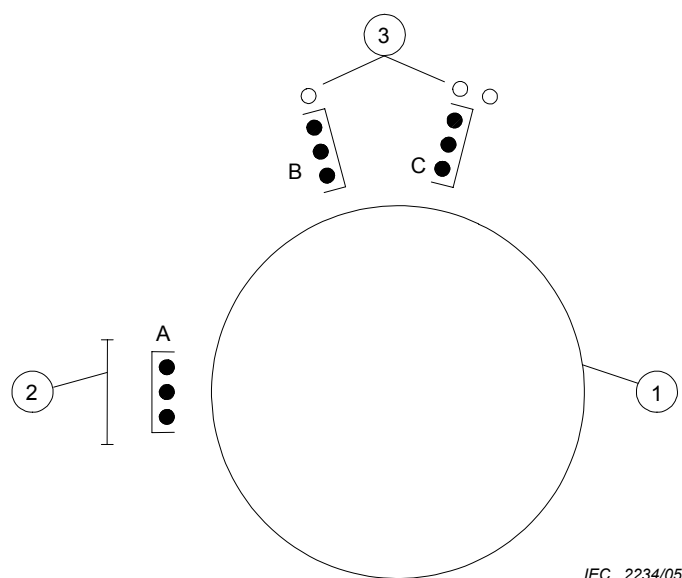
- 1 lightning rod
- 2 steel mast with antennas
- 3 hand rails
- 4 interconnected reinforcement
- 5 line coming from LPZ 0_B needs SPD at entry
- 6 lines coming from LPZ 1 (inside the mast) may not need SPDs at entry
- r radius of the rolling sphere

Figure B.5 – Protection of aerials and other external equipment

Sur des structures de grande hauteur, il est recommandé d'appliquer la méthode de la sphère fictive (voir CEI 62305-3) aux équipements situés sur la toiture ou sur les façades afin de déterminer si un coup de foudre est possible et dans ce cas, il convient de placer les dispositifs de capture en conformité. Souvent, les rambarde, échelles, tuyaux, etc., peuvent remplir les fonctions de dispositifs de capture. Tous les équipements, à l'exception de quelques formes d'aériens peuvent être protégés de cette manière. Les aériens doivent parfois être placés dans des situations exposées, car, leurs performances en tant qu'antenne émettrice ou réceptrice sont gênées par les conducteurs de foudre proches. Certains aériens sont conçus pour être autoprotégés car seuls des conducteurs de mise à la terre sont exposés aux coups de foudre. De plus en plus, les aériens disponibles sur le marché sont conçus avec une protection incorporée et peuvent être soumis aux coups de foudre. D'autres types, moins bien protégés, peuvent nécessiter des parafoudres sur leurs câbles d'alimentation pour empêcher l'écoulement de transitoires dans le câble vers le récepteur ou l'émetteur. Toutefois, si un système de protection extérieure est installé, il convient que les supports des aériens soient reliés à l'équipotentialité.

B.9.2 Réduction des surtensions dans les câbles

Des tensions induites élevées et des courants peuvent être évitées, par la connexion à l'équipotentialité des conduits, canalisations ou tubes métalliques afin de limiter les courants et tensions auto-induites. Tous les câbles relatifs à un matériel particulier connecté à un aérien doivent sortir du chemin de câbles en un seul point. Il convient de tenir compte des propriétés de blindage inhérentes à la structure en faisant cheminer les câbles dans des conduits si possible tubulaires, ou dans le cas de citernes, à l'extérieur mais à proximité de la structure et en utilisant au mieux les écrans naturels formés par les canalisations et échelles métalliques ou tout autre matériau conducteur (voir Figure B.6). Sur les mâts à cornière en forme de L (voir Figure B.7), il convient de placer les câbles à l'intérieur de la cornière pour une protection maximale de la structure.



Légende

- 1 citerne
- 2 échelle
- 3 canalisations

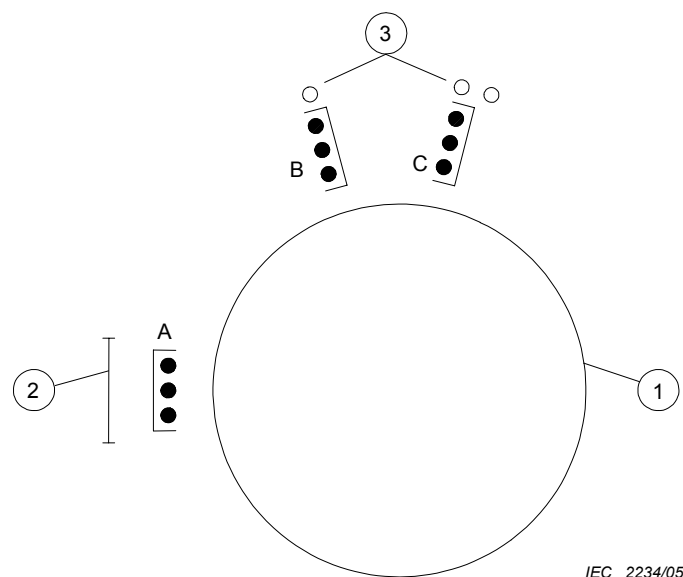
NOTE A, B et C sont de bons choix pour l'emplacement des chemins de câbles.

Figure B.6 – Ecran naturel fourni par des échelles et canalisations mises à la terre

On tall structures, the rolling sphere method (see IEC 62305-3) should be applied to determine if the equipment installed on the top or sides of the building are possibly subject to a direct flash. If this is the case, additional air terminations should be used. In many cases handrails, ladders, pipes etc. can adequately perform the function of an air termination. All equipment, except some types of aerials, can be protected in this manner. Aerials sometimes have to be placed in exposed positions to avoid their performance being adversely affected by nearby lightning conductors. Some aerial designs are inherently self-protecting because only well earthed conductive elements are exposed to lightning flash. Other might require SPDs to be installed on their feeder cables to prevent excessive transients from flowing down the cable to the receiver or the transmitter. When an external LPS is available the aerial supports should be bonded to it.

B.9.2 Reduction of overvoltages in cables

High induced voltages and currents can be prevented by running cables in bonded ducting, trunking or metal tubes. All cables leading to the specific equipment should leave the cable duct at a single point. Where possible, the inherent shielding properties of the structure itself should be used to maximum advantage by running all cables together within the tubular components of the structure. Where this is not possible, as in the case of process vessels, cables should run on the outside but close to the structure and make as much use as possible of the natural shielding provided by metal pipes, steel rung ladders and any other well bonded conducting materials (see Figure B.6). On masts which use L-shaped corner members, cables should be placed in the inside corner of the L for maximum protection (see Figure B.7).

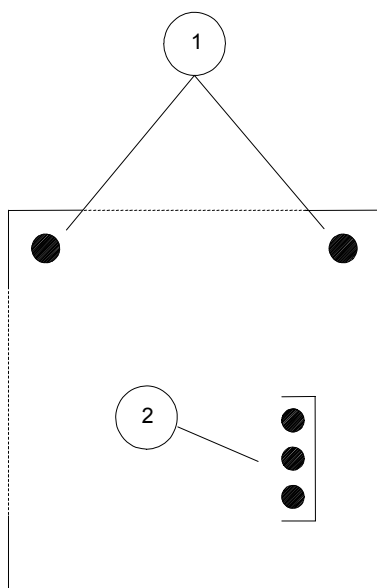


Key

- 1 process vessel
- 2 rung ladder
- 3 pipes

NOTE A, B, C are good alternatives for cable tray positioning.

Figure B.6 – Inherent shielding provided by bonded ladders and pipes



IEC 2235/05

Légende

- 1 emplacements idéaux pour les câbles dans les coins des poutres en L
- 2 autre emplacement pour le chemin de câbles dans le mât

Figure B.7 – Emplacements idéaux pour des lignes sur un mât (section des mâts en acier)

B.10 Amélioration des interconnexions entre des structures

Les lignes interconnectant des structures séparées sont:

- soit isolées (câbles à fibre optique non métalliques);
- soit métalliques (par exemple, paires câblées, guides d’ondes, câbles coaxiaux ou multipolaires, mais aussi câbles optiques avec composantes métalliques continues).

La protection dépend du type de ligne, du nombre de lignes et de l’interconnexion ou non des prises de terre des structures séparées.

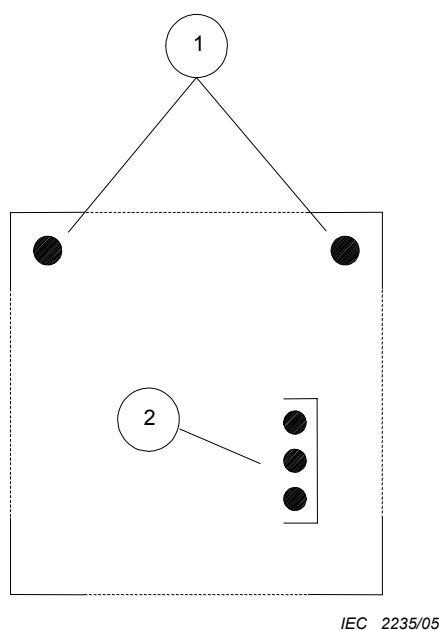
B.10.1 Lignes isolées

Si des câbles à fibre optique sans composantes métalliques (sans écran métallique, de fil de tirage acier ou de barrière antimoisissure) sont utilisés pour l’interconnexion de structures séparées, aucune mesure de protection de ces câbles n’est prescrite.

B.10.2 Lignes métalliques

Si une interconnexion appropriée des prises de terre de structures séparées n’est pas réalisée, les lignes constituent un cheminement de faible impédance pour la foudre. Ainsi, un courant partiel de foudre conséquent circulera dans ces lignes.

- La mise à la terre des lignes, directement ou par parafoudres à l’entrée des deux ZPF 1, protégera les seuls équipements dans les structures, mais pas les lignes.
- Les lignes pourraient être protégées par l’installation d’un conducteur de liaison équipotentielle complémentaire en parallèle. Le courant de foudre serait alors partagé entre les lignes et ce conducteur.
- La méthode recommandée est de mettre les lignes dans des conduits métalliques, ce qui protège les lignes et les matériels dans les structures.

**Key**

- 1 ideal positions for cables in corners of L-girders
- 2 alternative position for bonded cable tray within the mast

Figure B.7 – Ideal positions for lines on a mast (cross-section of steel lattice mast)

B.10 Improving interconnections between structures

Lines interconnecting separate structures are either:

- isolating (metal-free fibre optic cables), or
- metallic (e.g. wire pairs, multicores, wave guides, coaxial cables or fibre optic cables with continuous metal components).

Protection requirements depend on the type of the line, the number of lines and whether the earth termination systems of the structures are interconnected.

B.10.1 Isolating lines

If metal-free fibre optic cables (i.e. without metal armouring, moisture barrier foil or steel internal draw wire) are used to interconnect separate structures, no protection measures for these cables are needed.

B.10.2 Metallic lines

Without proper interconnection between the earth termination systems of separate structures, the interconnecting lines form a low impedance route for the lightning current. This may result in a substantial portion of the lightning current flowing along these interconnecting lines.

- The required bonding, directly or via SPD, at the entries to both LPZs 1 will protect only the equipment inside, whereas the lines outside remain unprotected.
- The lines might be protected by installing an additional bonding conductor in parallel. The lightning current will then be shared between the lines and this bonding conductor.
- It is recommended that the lines be run in closed and interconnected metal cable ducts. In this case the lines as well as the equipment are protected.

Si une interconnexion appropriée des prises de terre est réalisée, la protection des lignes par des conduits métalliques interconnectés est toujours recommandée. Dans le cas de nombreux câbles d'interconnexion, les écrans et armures des câbles peuvent être mis à la terre à chaque extrémité au lieu d'utiliser des conduits métalliques.

Where proper interconnection between the earth termination systems of separate structures is implemented, the protection of lines by interconnected metal ducts is still recommended. Where many cables are run between interconnected structures, the shields or the armouring of these cables, bonded at either end, can be used instead of cable ducts.

Annexe C (informative)

Coordination des parafoudres

C.1 Généralités

Si deux ou plusieurs parafoudres sont installés en cascade dans le même circuit, ils doivent être coordonnés énergétiquement afin que les contraintes soient partagées en fonction de leur aptitude d'absorption de l'énergie.

Pour une coordination efficace, les caractéristiques individuelles des parafoudres (telles que données par le constructeur), la menace à leur emplacement et les caractéristiques des matériels à protéger doivent être prises en compte.

La menace essentielle créée par la foudre est due à trois composantes:

- le courant de choc de premier coup de foudre;
- le courant de choc des coups de foudre consécutifs;
- le courant continu de longue durée.

Ces trois composantes sont réelles en tant que courants appliqués. Pour la coordination de parafoudres en cascade, le premier coup de foudre est le facteur décisif car les coups de foudre consécutifs ont une énergie spécifique, une charge et une amplitude plus faibles et une raideur plus élevée. De plus, un coup de foudre de longue durée n'est qu'un facteur de contrainte supplémentaire pour le parafoudre; il convient donc de le négliger dans l'aspect de la coordination.

NOTE 1 Si le parafoudre est spécifié pour le premier coup, les coups subséquents n'entraînent pas de problèmes additionnels pour ce parafoudre. Si des inductances sont utilisées pour le découplage, le temps de montée le plus court de courant rend la coordination entre les parafoudres plus aisée.

Les paramètres du courant de foudre pour les différents niveaux de protection sont donnés dans le Tableau 3 de la CEI 62305-1. Toutefois, un parafoudre ne subira les contraintes que d'un courant partiel de foudre. Cela nécessite la détermination de la distribution du courant, soit par simulation par logiciels, soit par approximation comme indiqué à l'Annexe E de la CEI 62305-1.

NOTE 2 La fonction analytique du courant de choc est donnée dans l'Annexe B de la CEI 62305-1.

Le premier coup court d'un impact direct peut être simulé par une onde 10/350 μs , mais des parties du courant de foudre et les courants induits peuvent présenter des ondes différentes en raison des interactions entre le courant de foudre et l'installation BT. Pour des raisons de coordination, les courants de chocs (ondes) sont considérés:

- $I_{10/350}$ Essai en courant d'onde 10/350 μs . Essai dédié à la coordination énergétique des parafoudres. Un courant analogue est utilisé pour un essai de parafoudre de Classe I (voir la CEI 61643-1) défini par sa valeur crête I_{peak} et sa charge de transfert Q .
- $I_{8/20}$ Essai en courant d'onde 8/20 μs . Pour un parafoudre destiné aux lignes électriques, cette forme d'onde est utilisée pour l'essai d'un parafoudre de Classe II (CEI 61643-1).
- I_{CWG} Courant de sortie d'un générateur à onde combinée (CEI 61000-4-5). La forme d'onde dépend de la charge (tension en circuit ouvert 1,2/50 μs et courant de court-circuit 8/20 μs). Ce courant de sortie est utilisé pour l'essai d'un parafoudre de Classe III (CEI 61643-1).

Annex C (informative)

SPD coordination

C.1 General

Where two or more SPDs are installed one after another in the same circuit, they shall be coordinated in such a way as to share the energy between them according to their energy absorbing capability.

For effective coordination, the characteristics of the individual SPDs (as published by the manufacturer), the threat at the point of installation and the characteristics of the equipment to be protected, need to be considered.

The primary lightning threat is given by the three lightning current components:

- the first short stroke,
- the subsequent short strokes,
- the long stroke.

All three components are impressed currents. In the coordination of downstream SPDs, the first short stroke is the predominating factor when considering the sharing of energy (charge and amplitude). Subsequent short strokes have lower values of specific energy, but a higher current steepness. The long stroke is an additional stress factor which need not be considered for coordination purposes.

NOTE 1 If SPDs are specified for the first short stroke threat, the subsequent short strokes cause no additional problems. If inductances are used as decoupling elements, the higher current steepness facilitates coordination between SPDs.

Parameters of the total lightning current for the different LPL are listed in Table 3 of IEC 62305-1, Table 3. However, a single SPD will only be stressed by a portion of this total lightning current. This requires the determination of the current distribution, either by computer simulation using network analysing software, or by approximation as given in Annex E of IEC 62305-1.

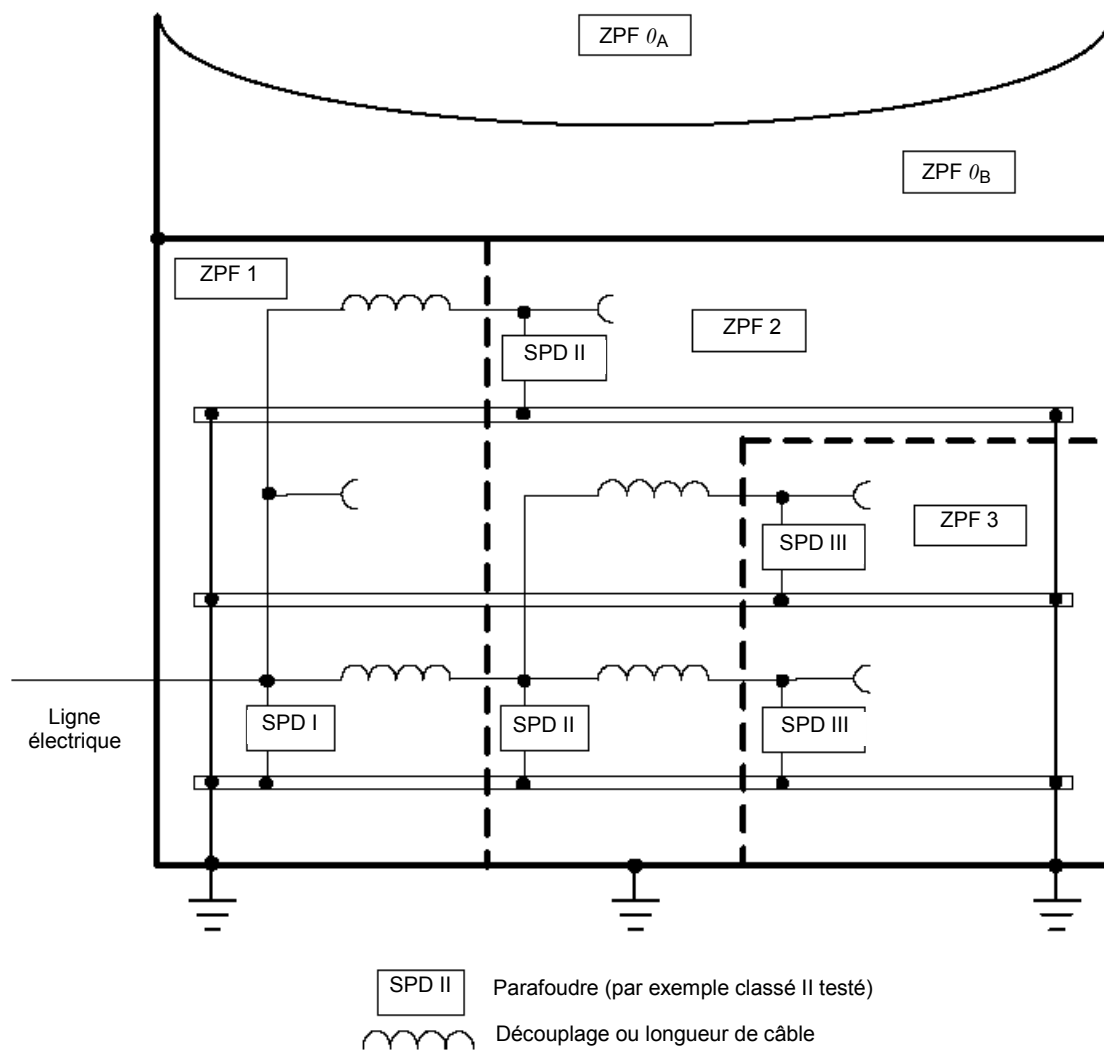
NOTE 2 Analytical functions of the short strokes for analysis purposes are given in Annex B of IEC 62305-1.

The first short stroke current of a direct lightning flash can be simulated using a waveshape 10/350 μ s. Partial lightning or induced currents within the system can have different waveshapes due to interactions between the lightning current and the low-voltage installation. For coordination purposes, therefore, the following impulse test currents (surges) are considered:

- $I_{10/350}$ A test current with a 10/350 μ s waveshape – is especially used to test the energy coordination of SPDs. For SPDs intended for use on power lines, this waveshape is used in the Class I test (see IEC 61643-1), which is defined by its peak value I_{peak} and its charge transfer Q .
- $I_{8/20}$ A test current with an 8/20 μ s waveshape. For SPDs intended for use on power lines, this waveshape is used in the Class II test (IEC 61643-1).
- I_{CWG} Output current of a combination wave generator (IEC 61000-4-5). The waveshape depends on the load (open circuit voltage 1,2/50 μ s and short circuit current 8/20 μ s). This output current is used in the Class III test (IEC 61643-1).

I_{RAMP} Courant d'essai de raideur 0,1 kA/ μ s. Il est défini pour simuler des courants partiels de foudre dans un réseau présentant une raideur minimale en raison des interactions entre le courant de foudre et l'installation basse tension. Ce courant est dédié aux essais de découplage des parafoudres en cascade.

La Figure C.1 montre un exemple d'application de distribution de parafoudres dans un réseau selon le concept des zones de protection contre la foudre. Les parafoudres sont installés en cascade. Ils sont choisis selon les exigences relatives à leur point de pénétration.



IEC 2236/05

Figure C.1 – Exemple de mise en œuvre de parafoudres dans un réseau de puissance

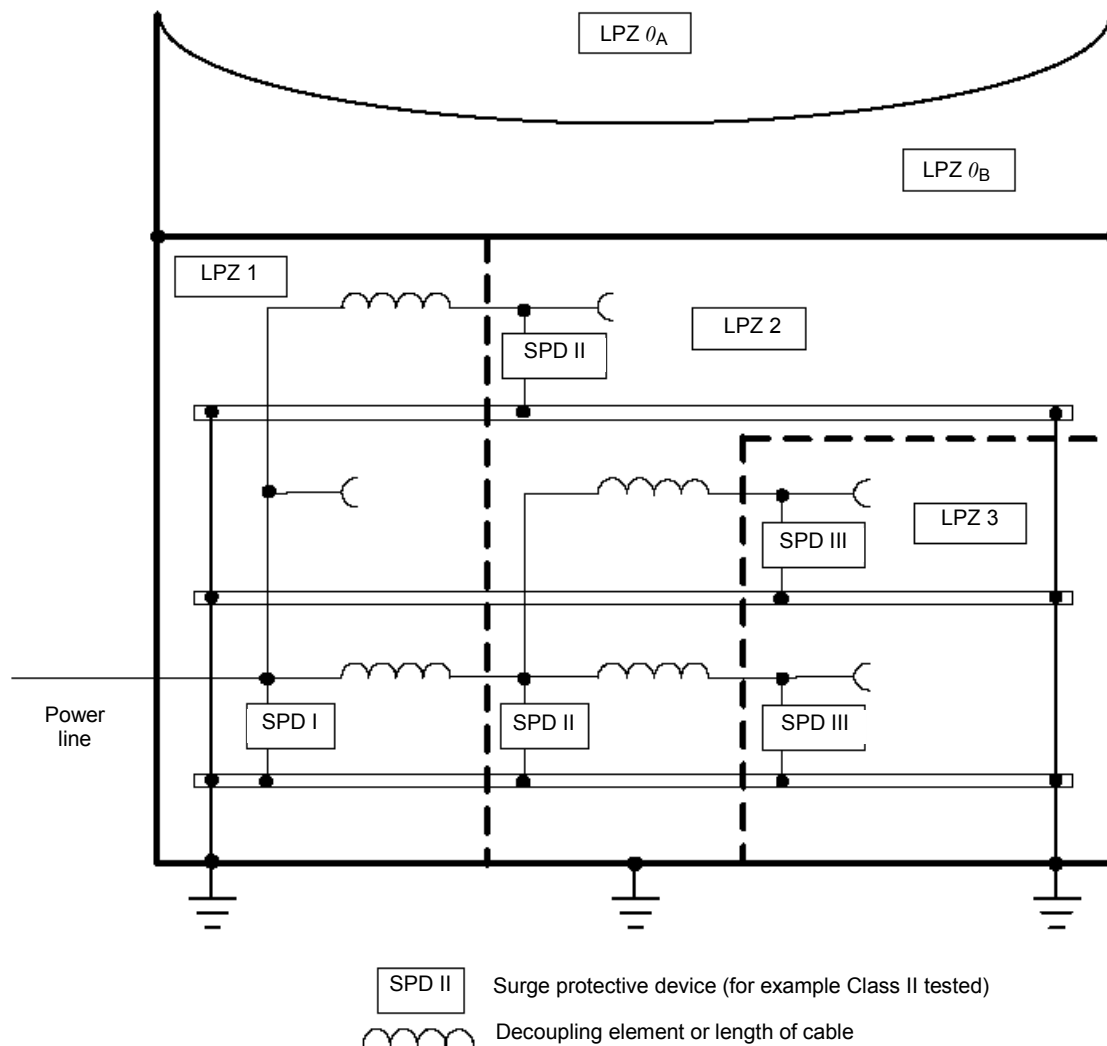
Les parafoudres choisis et leur intégration dans l'ensemble du réseau à l'intérieur de la structure doivent assurer que le courant partiel de foudre sera principalement écoulé à la terre au niveau de la frontière ZPF 0_A/ZPF 1.

Lorsque l'énergie initiale du courant partiel de foudre aura été écoulée, via le premier parafoudre, les parafoudres en cascade n'ont besoin d'être définis que pour la menace restante de l'interface ZPF 0_A/ZPF 1 et pour les effets d'induction du champ électromagnétique dans ZPF 1 (surtout si ZPF 1 n'a pas d'écran électromagnétique).

NOTE 3 Il faut considérer lors du choix des parafoudres en aval, que les parafoudres à coupure de tension ne puissent atteindre leur seuil de fonctionnement.

I_{RAMP} A test current with a current steepness of 0,1 kA/ μ s. It is defined to simulate partial lightning currents within the system having minimum steepness due to interaction between the lightning current and the low-voltage installation. This current is used especially to test the decoupling of subsequent SPDs.

Figure C.1 shows an example of the application of SPDs in power distribution systems according to the lightning protection zones concept. The SPDs are installed in sequence. They are chosen according to the requirements at their particular installation point.



IEC 2236/05

Figure C.1 – Example for the application of SPD in power distribution systems

The SPDs selected and their integration into the overall electrical system inside the structure shall ensure that the partial lightning current will mainly be diverted into the earthing system at the interface LPZ 0_A/LPZ 1.

Once the majority of the energy of the partial lightning current has been diverted via the first SPD, the subsequent SPDs need to be designed only to cope with the remaining threat from the interface LPZ 0_A to LPZ 1 plus the induction effects from the electromagnetic field within LPZ 1 (especially if LPZ 1 has no electromagnetic shield).

NOTE 3 It must be considered when choosing subsequent SPDs, that voltage switching type SPDs may not reach their operating threshold.

Les services provenant de la ZPF 0_A (lorsque des coups directs sont possibles) écoulent des courants de foudre partiels. Donc à l'interface LPZ 0_A/LPZ 1 les parafoudres testés avec I_{imp} (parafoudres d'essai de Classe I) doivent écouler ces courants.

Les services provenant de la ZPF 0_B, (lorsque les coups directs sont exclus mais que des champs électromagnétiques complets sont présents) doivent écouler seulement les surtensions induites. A l'interface LPZ 0_B/LPZ 1, il convient que les effets induits soient simulés soit par un courant de choc de forme d'onde 8/20 μ s (parafoudres d'essai de Classe II), soit par une onde combinée appropriée conforme à la CEI 61643-1 (parafoudres d'essai de Classe III).

La menace restante de la transition de la ZPF 0 à la ZPF 1 et les effets induits du champ électromagnétique dans la ZPF 1 donnent les exigences à satisfaire par le parafoudre de transition entre la ZPF 1 et la ZPF 2. Si aucune analyse détaillée de la menace ne peut être effectuée, il convient que la menace essentielle soit simulée soit par un courant de choc de forme d'onde 8/20 μ s (parafoudre testé de Classe II), soit par une onde combinée conformément à la CEI 61643-1 (parafoudre testé de Classe III). Si le parafoudre à l'interface ZPF 0/ZPF 1 est du type à coupure, il existe une chance pour que l'amplitude du courant de foudre partiel ne soit pas suffisant pour assurer l'amorçage. En ce cas, les parafoudres en aval peuvent être soumis à une forme d'onde 10/350 μ s.

C.2 Objectif général de la coordination des parafoudres

L'objectif de la coordination en énergie est d'éviter les contraintes des parafoudres dans l'installation. Les contraintes sur chaque parafoudre sont fonction de leur emplacement et de leurs caractéristiques; il faut donc les analyser.

Si plus d'un parafoudre est utilisé pour la protection des équipements et s'il a été vérifié que la protection des parafoudres et leur emplacement sont compatibles avec l'équipement à protéger, une étude de coordination entre ces parafoudres et l'équipement est nécessaire.

La coordination énergétique est réalisée si, pour tous les courants de choc, la partie d'énergie dissipée dans un parafoudre est inférieure ou égale à sa tenue maximale. Cette coordination d'énergie doit être prise en considération pour les quatre formes d'onde étudiées à l'Article C.1.

Il est recommandé que cette tension de tenue soit obtenue

- à partir des résultats d'essais conformément à la CEI 61643-1;
- en tenant compte des informations techniques du constructeur du parafoudre.

La Figure C.2 illustre le modèle de base de la coordination en énergie des parafoudres. Ce modèle n'est applicable que si l'impédance du réseau equipotentiel et l'inductance mutuelle entre cette liaison et l'installation réalisée par la connexion des parafoudres 1 et 2 sont négligeables.

NOTE Un élément de découplage n'est pas nécessaire si la coordination en énergie est assurée par d'autres mesures appropriées (par exemple coordination des caractéristiques tension/courant ou utilisation de parafoudres du type à coupure en tension spécifiquement projeté pour assurer le déclenchement à tensions réduites – DDR).

Lines entering from LPZ 0_A (where direct flashes are possible) carry partial lightning currents. At the interface LPZ 0_A to LPZ 1 therefore, SPDs tested with I_{imp} (Class I tested SPD) are needed to divert these currents.

Lines entering from LPZ 0_B (where direct flashes are excluded but the full electromagnetic field exists), carry only induced surges. At the interface LPZ 0_B to LPZ 1 the induced effects should be simulated by means of either a surge current with a waveshape 8/20 μ s (Class II tested SPD) or an adequate combination wave test (Class III tested SPD) according to IEC 61643-1.

The remaining threat at the zone transition LPZ 0 to LPZ 1 and the induced effects of the electromagnetic field within LPZ 1 define the requirements for the SPDs at the interface LPZ 1 to LPZ 2. If no detailed analysis of the threat is possible, the dominant stress should be simulated by means of either a surge current with a waveshape 8/20 μ s (Class II tested SPD) or combination wave test (Class III tested SPD) according to IEC 61643-1. If the SPD at the interface LPZ 0 to LPZ 1 is of the voltage switching type, there is a chance that the level of the incoming lightning current may not be sufficient to trigger it. In such a case the downstream SPDs may be subjected to a 10/350 μ s waveshape.

C.2 General objectives of SPD coordination

The energy coordination is needed to avoid SPDs within a system from being overstressed. The individual stresses of SPDs, depending on their location and characteristics, must therefore be determined.

As soon as two or more SPDs are installed in cascade, a study of the coordination of the SPDs and the equipment being protected is needed.

Energy coordination is achieved if the portion of energy which each SPD is subjected to is lower than, or equal, to its withstand energy. This coordination of energy needs to be considered for the four waveforms considered in C.1.

The withstand energy should be obtained from:

- electrical testing according to IEC 61643-1;
- technical information provided by the SPD manufacturer.

Figure C.2 illustrates the basic model of the energy coordination for SPDs. This model is only valid when the impedance of the bonding network and the mutual inductance between the bonding network and the installation formed by the connection of SPD 1 and SPD 2, is negligible.

NOTE The decoupling element is not required if the energy coordination can be assured using other suitable measures (e.g. coordination of the voltage/current characteristics of the SPDs, or use of voltage switching type SPDs specifically designed to trigger at lower voltages “triggered SPDs”).

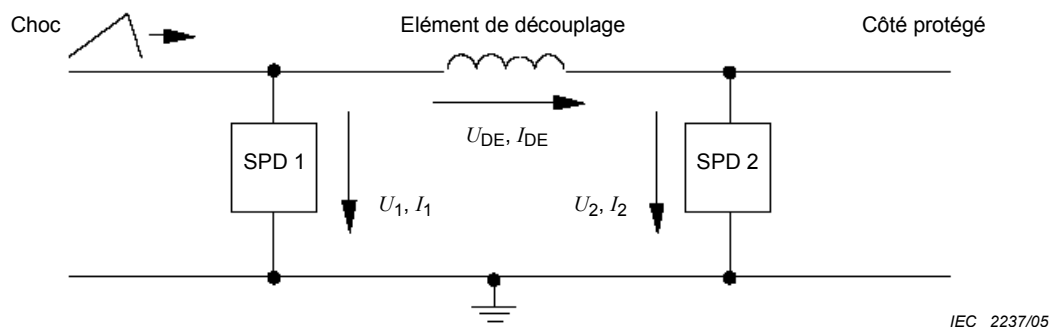


Figure C.2 – Modèle de base de coordination en énergie de parafoudres

C.2.1 Principes essentiels de coordination

La coordination entre deux parafoudres suit l'un des principes fondamentaux suivants:

- Coordination (sans élément de découplage) se fondant sur les caractéristiques courant/tension.

Ce principe est applicable aux parafoudres de type limitation en tension (par exemple varistances ou diodes). Cette méthode n'est pas très sensible à la forme d'onde du courant.

NOTE 1 Cette méthode ne nécessite pas de découplage même si un découplage naturel est réalisé par les lignes.

- Coordination par utilisation d'éléments de découplage

Pour des raisons de coordination, il est possible d'utiliser des inductances ou des résistances présentant une tenue aux chocs suffisante comme éléments de découplage. Les résistances sont principalement utilisées dans des applications de communication. Les inductances sont principalement utilisées dans des applications de puissance. Pour cette méthode de coordination, la forme d'onde, plus particulièrement la raideur du courant di/dt est le paramètre décisif.

NOTE 2 Les éléments de découplage peuvent être soit des dispositifs séparés, soit la résistance et l'inductance naturelles des câbles entre les parafoudres en aval.

NOTE 3 L'inductance des câbles est celle de deux conducteurs en parallèle. Si les deux conducteurs (phase et terre) sont dans le même câble, l'inductance est d'environ de 0,5 $\mu\text{H}/\text{m}$ à 1 $\mu\text{H}/\text{m}$ (en fonction de la section des conducteurs). Si les deux conducteurs sont séparés, il convient de prévoir des inductances supérieures (en fonction de la distance entre conducteurs).

- Coordination par parafoudres à déclenchement (sans éléments de découplage)

La coordination peut aussi être réalisée par des parafoudres à déclenchement. Leur circuit de détection doit s'assurer que la tenue en énergie des parafoudres en cascade n'est pas dépassée.

NOTE 4 Cette méthode ne nécessite pas de découplage même si un découplage naturel est réalisé par l'impédance naturelle des lignes.

C.2.2 Coordination de deux parafoudres de type limitation en tension

La Figure C.3a montre le schéma d'association de deux parafoudres de type limitation en tension. La Figure C.3b illustre la dissipation d'énergie dans le circuit. L'énergie totale dans le système augmente avec la montée du courant de choc. Tant que l'énergie dissipée dans chacun des deux parafoudres ne dépasse pas la tenue maximale énergétique de la varistance, la coordination en énergie est satisfaite.

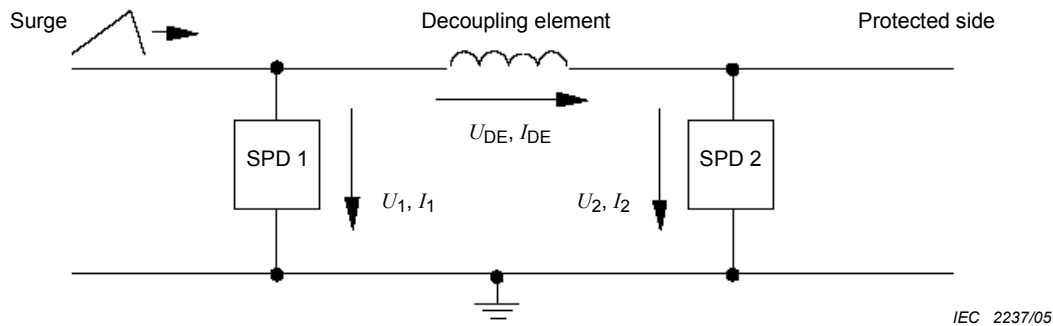


Figure C.2 – Basic model for energy coordination of SPD

C.2.1 Coordination principles

The coordination between SPDs can be achieved by using one of the following principles:

- Coordination of the voltage/current characteristics (without decoupling elements).

This method is based on the voltage/current characteristic and is applicable to voltage limiting type SPDs (e.g. MOV or suppressor diodes). This method is not very sensitive to the current waveshape.

NOTE 1 This method does not need decoupling, even if some inherent decoupling is given from the natural impedance of the lines.

- Coordination using dedicated decoupling elements

For coordination purposes, additional impedances with sufficient surge withstand capability can be used as decoupling elements. Resistive decoupling elements are primarily used in information systems. Inductive decoupling elements are primarily used for power systems. For the coordination efficiency of inductances the current steepness di/dt is the decisive parameter.

NOTE 2 Decoupling elements can be realised either by separate devices, or by using the natural impedance of cables between subsequent SPDs.

NOTE 3 The inductance of a line is that of two parallel conductors: If both conductors (phase and ground wire) are within one cable, then the inductance is about $0,5 \mu\text{H}/\text{m}$ to $1 \mu\text{H}/\text{m}$ (depending on the cross-section of the wires). If both conductors are separated, higher values of inductance should be assumed (depending on the separation distance of both conductors).

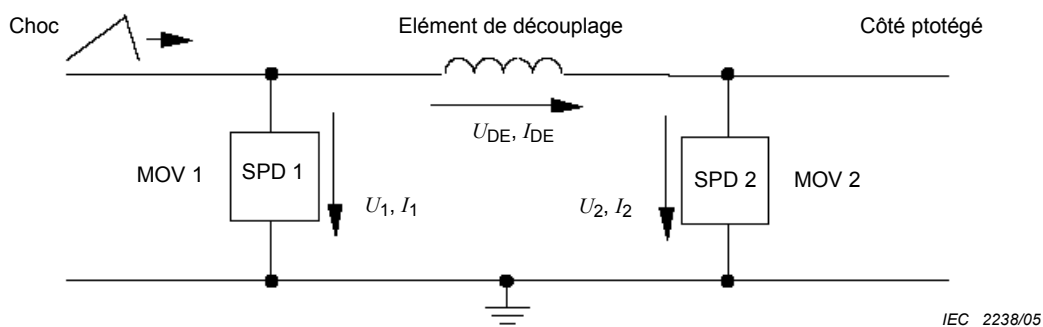
- Coordination using triggered SPDs (without decoupling elements).

Coordination can also be achieved using triggered SPDs if the electronic trigger circuit can assure that the energy withstand capability of subsequent SPDs is not exceeded.

NOTE 4 This method does not require additional decoupling elements, even if some inherent decoupling is provided by the natural impedance of the lines.

C.2.2 Coordination of two voltage-limiting type SPDs

Figure C.3a shows the basic circuit diagram for the coordination of two voltage-limiting type SPDs. Figure C.3b illustrates the energy dispersion within the circuit. The total energy feed into the system increases with the growing impulse current. As long as the energy dissipated in each of the two SPDs does not exceed their energy withstand capability, coordination is achieved.



Légende

MOV (metal oxide varistance) varistance

Figure C.3a – Circuit de deux parafoudres de type limitation en tension

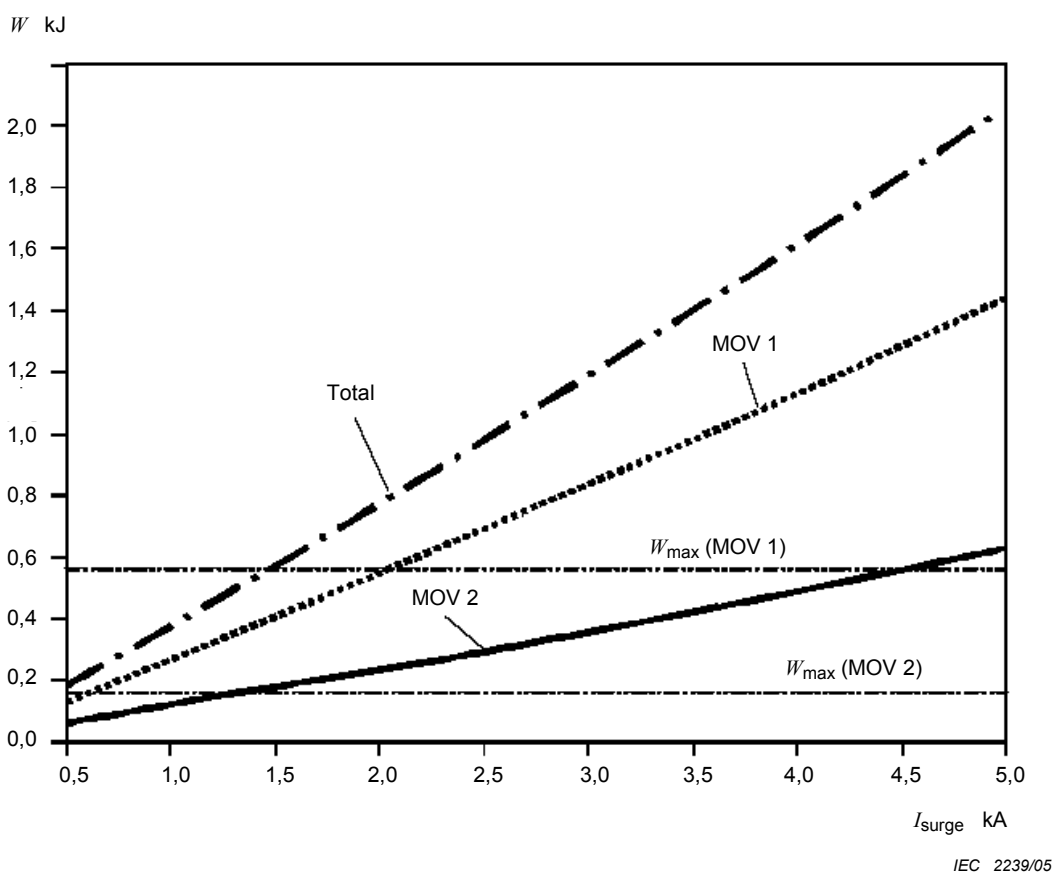
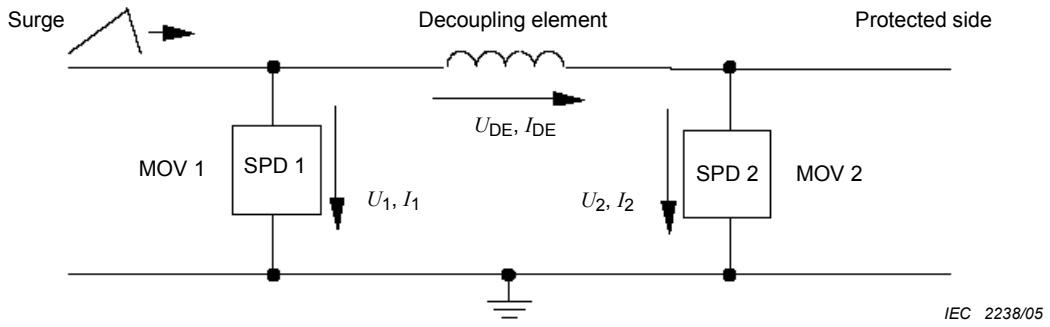


Figure C.3b – Principe de base pour la coordination en énergie de deux parafoudres MOV1 et MOV2

Figure C.3 – Association de base de deux parafoudres à limitation de tension



Key
 MOV metal oxide varistor

Figure C.3a – Circuit with two voltage-limiting type SPDs

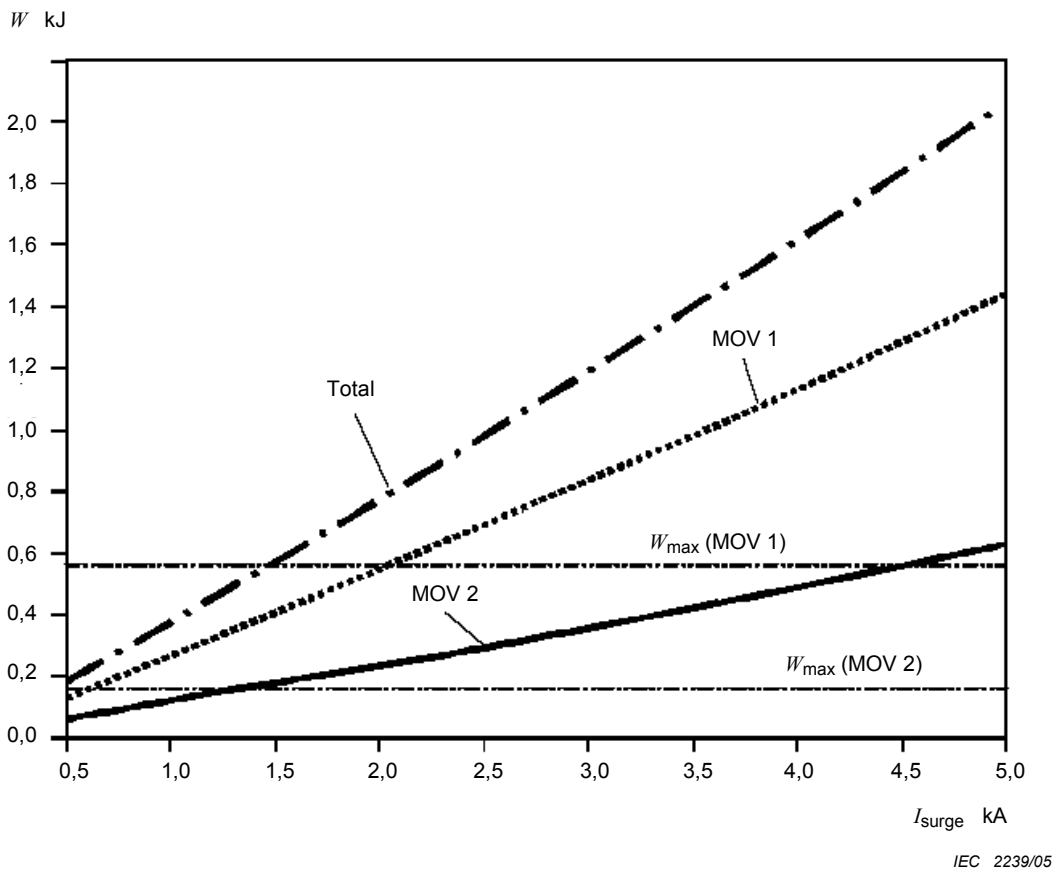


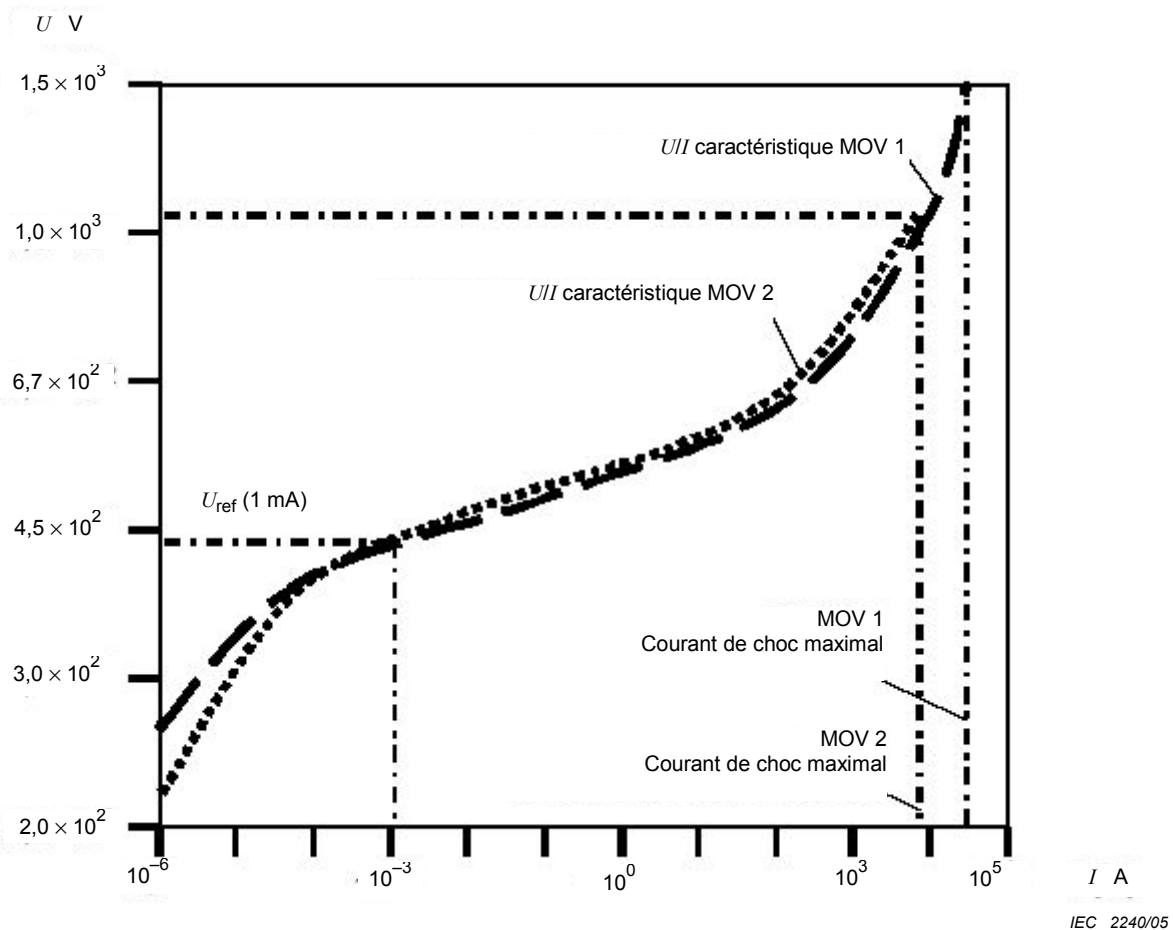
Figure C.3b – Principles of energy coordination between MOV 1 and MOV 2

Figure C.3 – Combination of two voltage-limiting type SPDs

Il convient que la coordination énergétique de deux parafoudres sans éléments de découplage soit réalisée par leurs caractéristiques de courant/tension dans le domaine de courant approprié. Cette méthode n'est pas très sensible à la forme d'onde du courant. Si des inductances sont utilisées comme éléments de découplage, la forme d'onde du courant de choc doit être considérée (par exemple 10/350 μ s ou 8/20 μ s).

Pour des formes d'onde à raideur faible (par exemple 0,1 kA/ μ s), les inductances ne sont pas très efficaces pour le découplage de parafoudre de type limitation en tension. Dans un parafoudre destiné aux lignes de communication, il est utile de réaliser la coordination par des résistances de découplage (ou par la résistance naturelle des câbles).

Pour la coordination de deux parafoudres à limitation de tension, la tenue de chacun des parafoudres à la forme d'onde du courant de choc et à l'énergie doit être prise en compte. La durée de l'onde ne sera pas raccourcie de façon notable par rapport au courant superposé. Les Figures C.4a et C.4b donnent un exemple de coordination en énergie de deux parafoudres à limitation de tension dans le cas de choc d'onde 10/350 μ s .



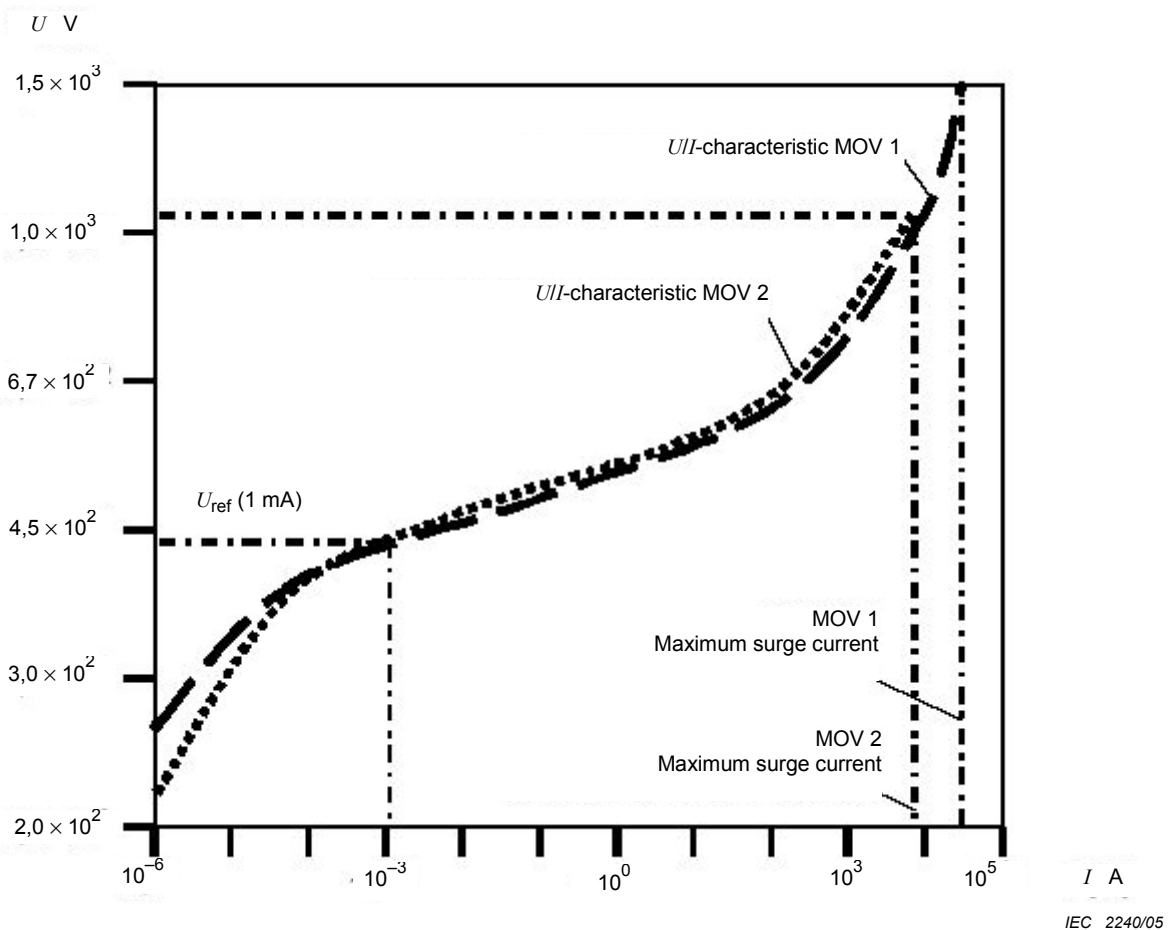
NOTE Comme il est vu dans cet exemple, la connaissance de la tension de référence U_{ref} n'est pas suffisante pour la coordination.

Figure C.4a – Caractéristiques courant/tension de MOV1 et MOV2

Energy coordination of two voltage-limiting type SPDs without dedicated decoupling elements should be realised by coordination of their voltage/current characteristics over the relevant current range. This method is not very dependent on the current waveshape considered. If additional inductances are required as decoupling elements, the waveshape of the surge current shall be considered (e.g. 10/350 μ s or 8/20 μ s).

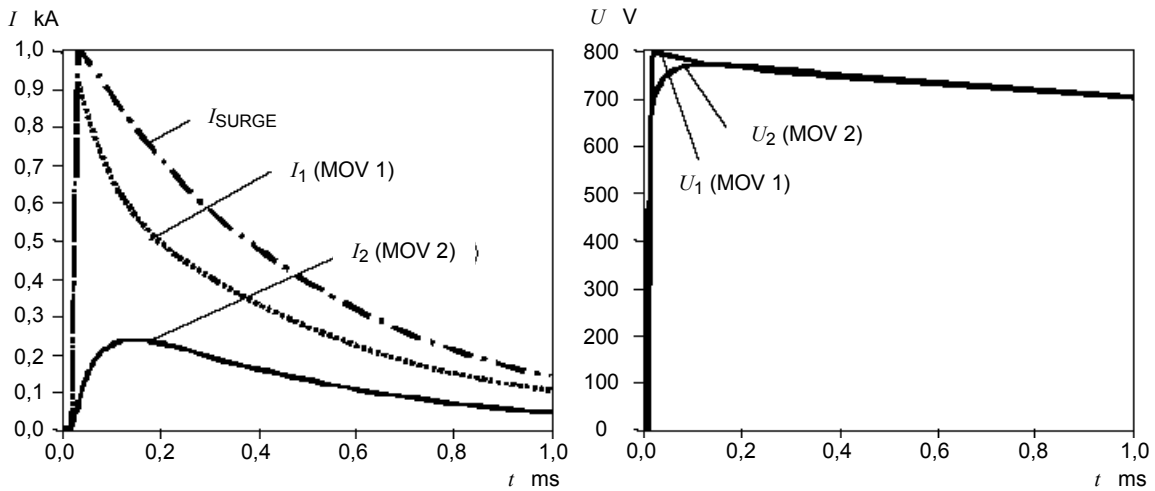
The use of inductances as the decoupling elements between different stages in an SPD, is not very effective when the waveshape is of a low current steepness (e.g. 0,1 kA/ μ s). In SPDs intended for use on signal lines, this coordination may better be achieved using resistances (or the natural resistances of wires) as the decoupling elements.

If two voltage-limiting type SPDs are coordinated, both shall be dimensioned for their respective surge current and energy. The duration of the current wave considered will be as long as that of the impinging current. Figures C.4a and C.4b provide an example of the energy coordination between two voltage-limiting type SPDs in the case of a 10/350 μ s surge.



NOTE As can be seen in this example, the knowledge of the MOV's reference voltage U_{ref} only, is not sufficient for coordination purposes.

Figure C.4a – Current/voltage characteristics of MOV 1 and MOV 2



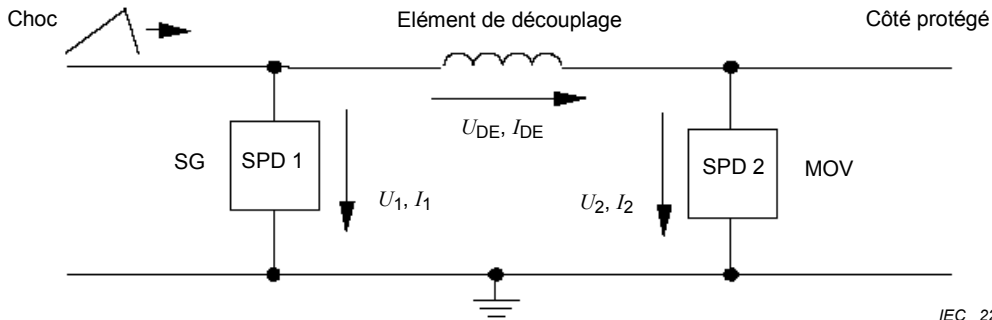
IEC 2241/05

Figure C.4b – Caractéristiques de courant et de tension de MOV 1 et MOV 2 sous un choc 10/350 μs

Figure C.4 – Exemple avec courant de deux parafoudres à limitation en tension

C.2.3 Coordination entre un parafoudre à coupure de tension et un parafoudre à limitation en tension

La Figure C.5a montre un schéma de base de cette variante de coordination utilisant, comme exemples de technologie un éclateur (SPD 1) et une varistance (SPD 2). La Figure C.5b illustre le principe fondamental de coordination en énergie d'une association d'un parafoudre à coupure en tension SPD 1 et d'un parafoudre à limitation de tension SPD 2.



IEC 2242/05

Figure C.5a – Association d'un éclateur et d'un parafoudre

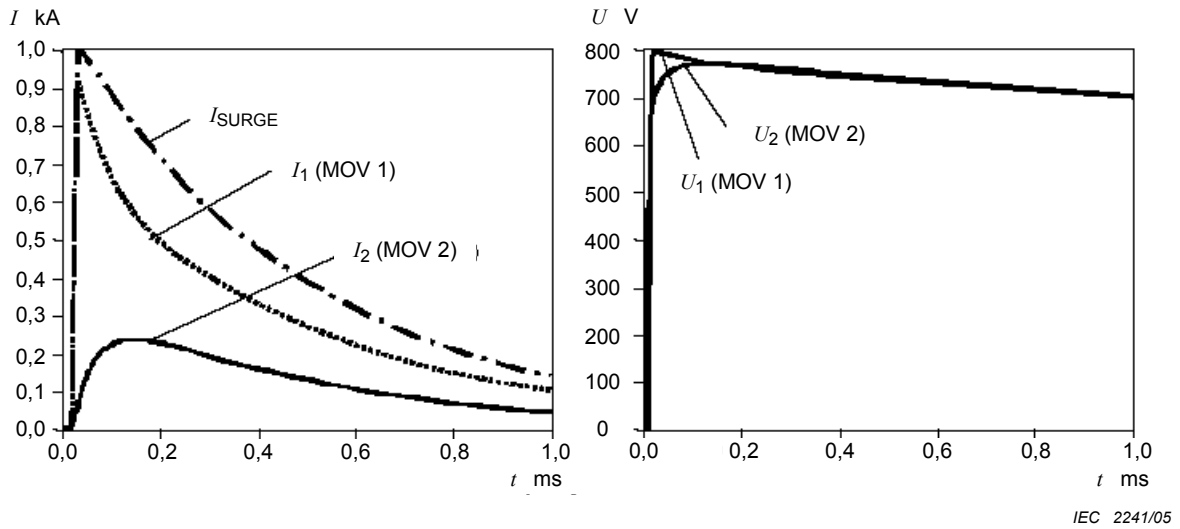


Figure C.4b – Current and voltage characteristics at MOV 1 and MOV 2 from 10/350 μ s surge

Figure C.4 – Example with two voltage-limiting type MOV 1 and MOV 2

C.2.3 Coordination between voltage switching type and voltage limiting type SPDs

Figure C.5a shows the basic circuit diagram of this coordination variant using a spark gap (SPD 1) and a MOV (SPD 2) as example technologies. Figure C.5b illustrates the basic principle of energy coordination using the characteristics of the voltage-switching type SPD 1 and the voltage-limiting type SPD 2.

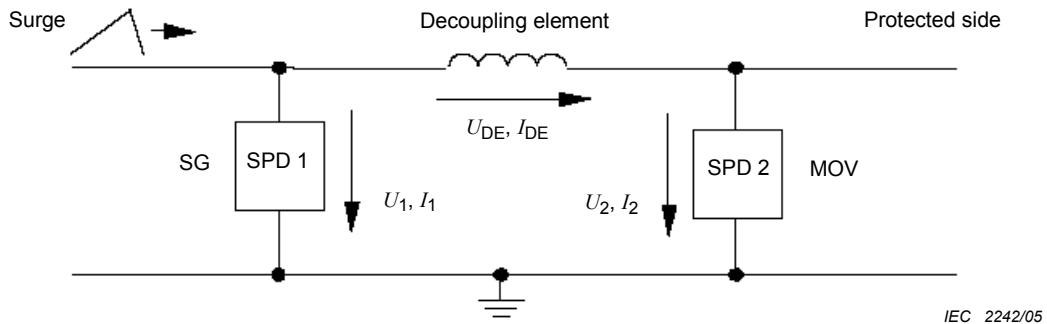


Figure C.5a – Circuit with spark gap and MOV

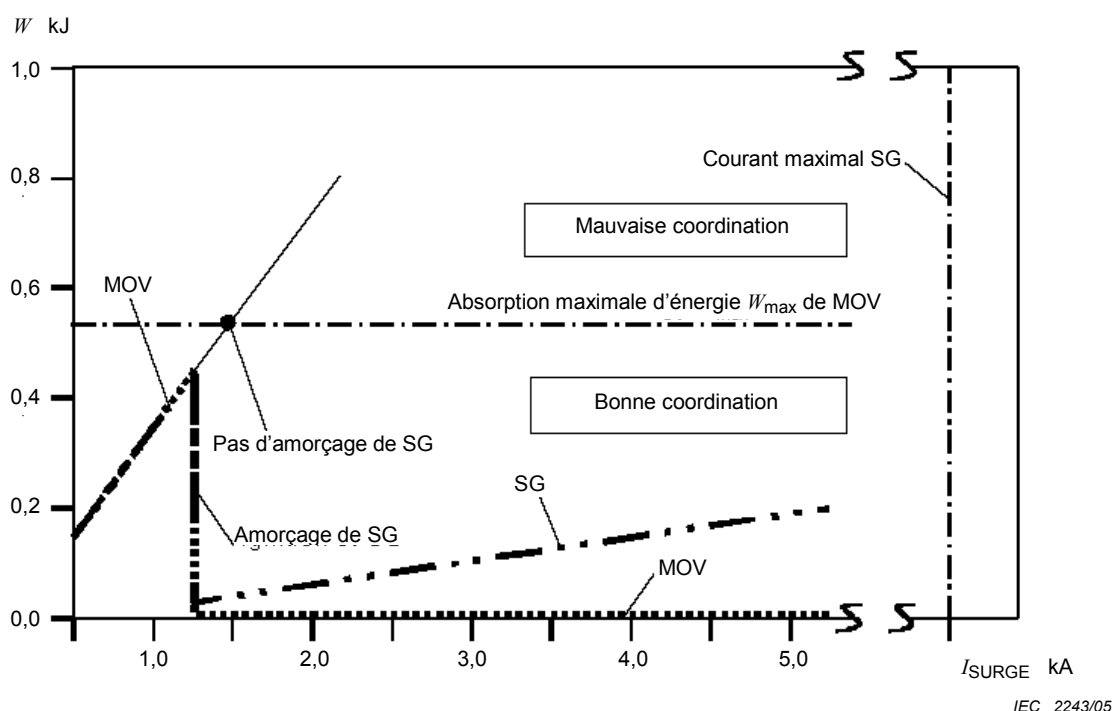


Figure C.5b – Principe de base pour la coordination en énergie d'un éclateur et d'un parafoudre

Figure C.5 – Association d'un éclateur en coupure de tension et d'une varistance à coupure de tension

L'amorçage de l'éclateur (parafoudre 1) dépend de la tension résiduelle U_{res} dans la varistance (parafoudre 2) et de la chute de tension dynamique dans l'élément de découplage U_{DE} . Dès que U_1 dépasse la tension d'amorçage U_{SPARK} , l'éclateur s'amorce et la coordination est réalisée. Cela ne dépend que

- des caractéristiques de la varistance;
- de la raideur et de la valeur du courant de choc entrant;
- de la tenue de l'élément de découplage (par exemple inductance ou résistance).

Si une inductance est utilisée comme élément de découplage, le temps de montée et la valeur crête du courant de choc doivent être considérés. Plus di/dt est élevé, plus l'inductance de découplage doit être faible. Particulièrement pour les parafoudres de Classe I testés avec I_{imp} et de Classe II testés avec I_n , il convient de prendre en compte un courant de foudre avec une raideur minimale de 0,1 kA/ μ s (voir la CEI 62305-1, Article C.1). La coordination entre ces parafoudres doit être assurée à la fois pour le courant de foudre de forme d'onde 10/350 μ s et pour la raideur de courant de foudre de 0,1 kA/ μ s.

Il est recommandé de considérer deux situations de base:

- Pas d'amorçage de l'éclateur (Figure C.6a):

Le courant de choc total s'écoule dans la varistance. La Figure C.5b montre que la coordination n'est pas réalisée si l'énergie dissipée par ce choc est supérieure à la tenue énergétique de la varistance. Si une inductance est utilisée comme élément de découplage, le cas le plus défavorable est une raideur minimale de courant de 0,1 kA/ μ s.

- Amorçage de l'éclateur (Figure C.6b):

Si l'éclateur s'amorce, la durée d'écoulement du courant s'écoulant dans la varistance est considérablement réduite. Comme le montre la Figure C.5b, la coordination est réalisée si l'éclateur s'amorce avant que la tenue en énergie de la varistance ne soit atteinte.

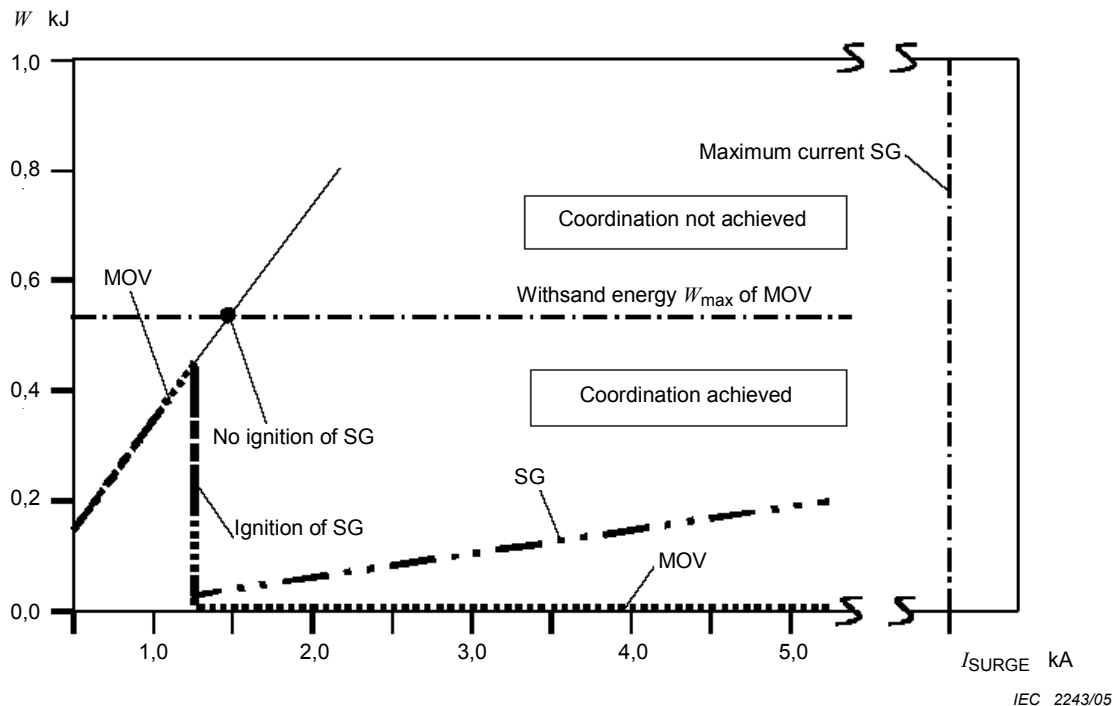


Figure C.5b – Principle for energy coordination of a spark gap and a MOV

Figure C.5 – Combination of voltage-switching type spark gap and voltage-limiting type MOV

The ignition of the spark gap (SPD 1) depends on the sum of the residual voltage U_{res} across the MOV (SPD 2) and of the dynamic voltage drop across the decoupling element U_{DE} . As soon as the voltage U_1 exceeds the dynamic spark over voltage U_{SPARK} , the spark gap will ignite and coordination is achieved. This depends only on the

- characteristics of the MOV,
- steepness and magnitude of the incoming surge current,
- decoupling element (inductance or resistance).

When an inductance is used as a decoupling element, the rise time and peak magnitude of the surge current shall be considered. The greater the steepness di/dt , the smaller the inductance required for decoupling. When coordinating SPDs tested with I_{imp} (Class I tested) and SPDs tested with I_n (Class II tested) a lightning current with a minimum current steepness of $0,1 \text{ kA}/\mu\text{s}$ should be used (see Clause C.1 of IEC 62305-1). The coordination of these SPDs shall be ensured for both the $10/350 \mu\text{s}$ lightning current as well as for the minimum current steepness of $0,1 \text{ kA}/\mu\text{s}$.

Two basic situations should be considered:

- No ignition of the spark gap (Figure C.6a):

If the spark gap does not ignite, the complete surge current flows through the MOV. As shown in Figure C.5b the coordination has not been achieved, if the energy dissipated by this surge is higher than the withstand energy of the MOV. If an additional inductance is required as the decoupling element, coordination should be evaluated using the worst-case minimum current steepness of $0,1 \text{ kA}/\mu\text{s}$.

- Ignition of the spark gap (Figure C.6b):

If the SG does ignite, the duration of the current flowing through the MOV is considerably reduced. As shown in Figure C.5b the proper coordination is achieved when the spark gap ignites before the withstand energy of the MOV is exceeded.

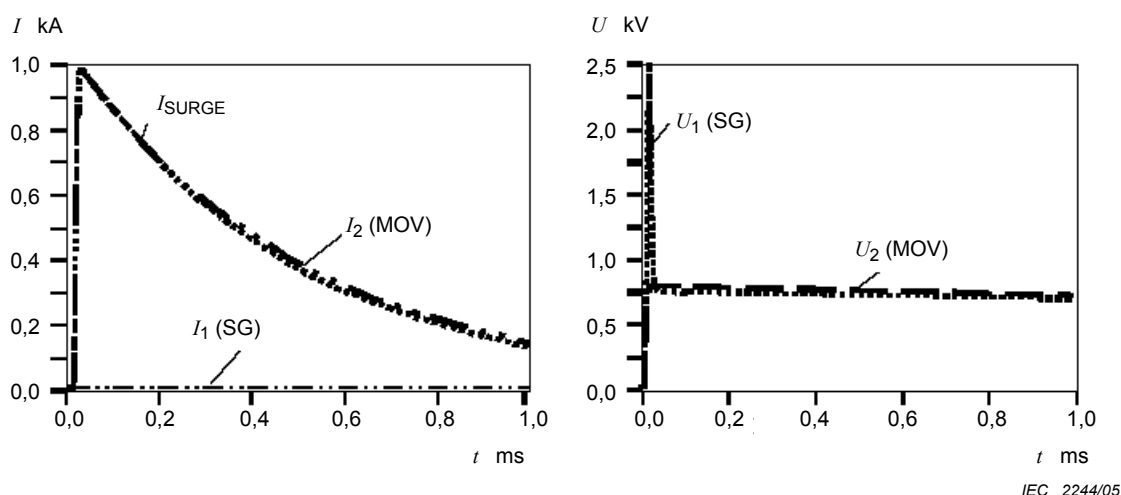


Figure C.6a – Caractéristiques de courant et de tension d'un éclateur et d'une varistance en onde 10/350 μ s (parafoudre 1 non amorcé)

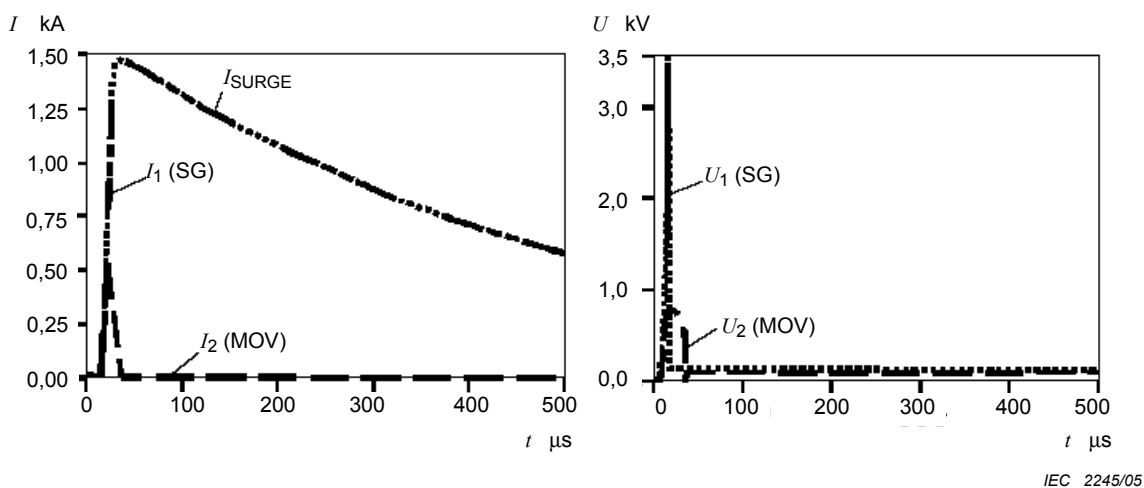


Figure C.6b – Caractéristiques de courant et tension d'une association d'un éclateur et d'une varistance en onde de choc 10/350 μ s (parafoudre 1 amorcé)

Figure C.6 – Exemple d'éclateur en coupure de tension et de varistance en limitation de tension

La Figure C.7 montre la méthode de principe de détermination de l'inductance de découplage requise pour les deux critères: onde de courant 10/350 μ s et raideur minimale du courant de 0,1 kA/ μ s. Les caractéristiques dynamiques tension/courant des deux parafoudres doivent être prises en compte pour le calcul de l'élément de découplage requis. La coordination est réalisée si l'éclateur s'amorce avant que la tenue en énergie de la varistance ne soit atteinte.

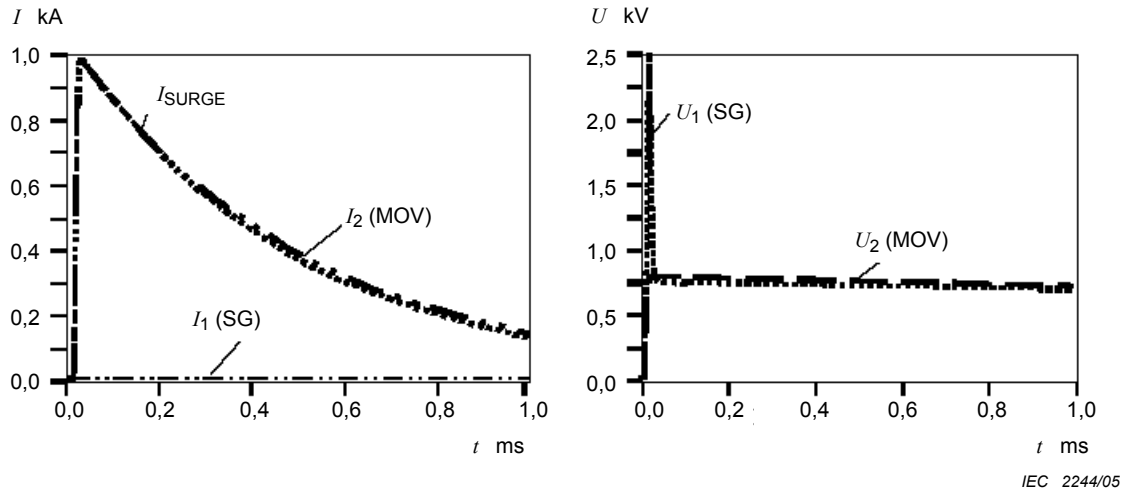


Figure C.6a – Current and voltage of spark gap and MOV from a 10/350 μ s surge (SPD 1 not ignited)

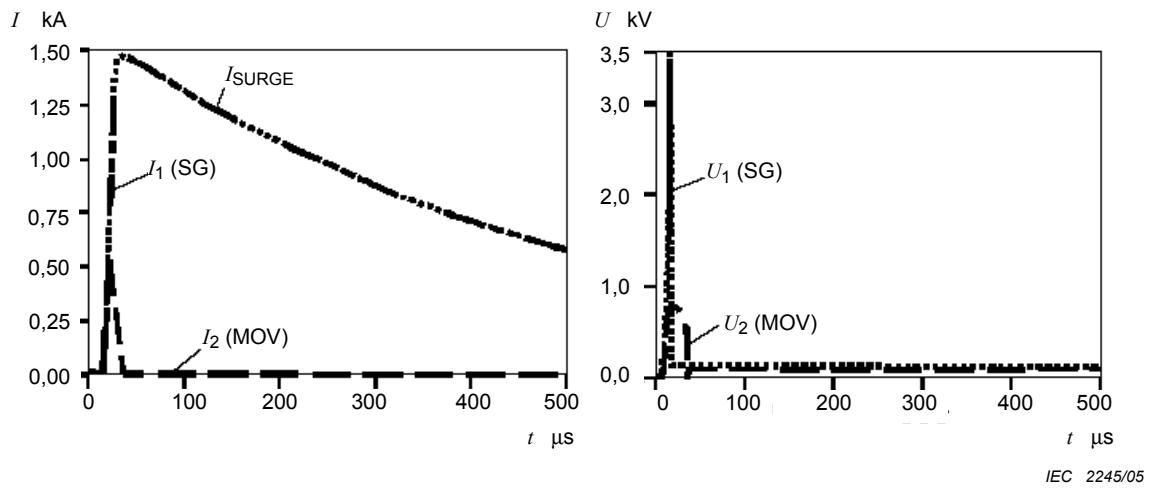
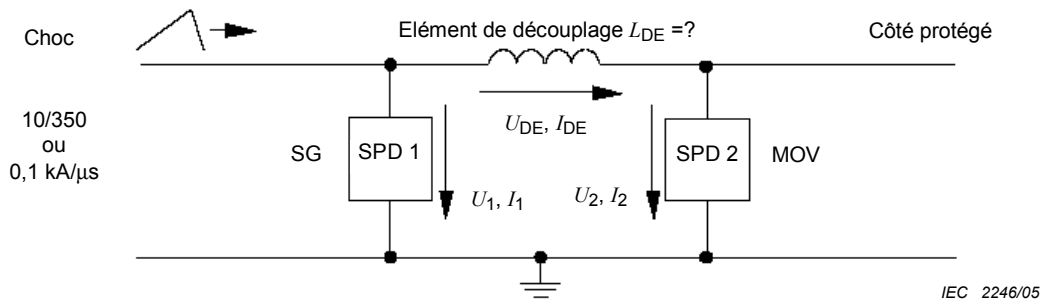


Figure C.6b – Current and voltage of spark gap and MOV from a 10/350 μ s surge (SPD 1 ignited)

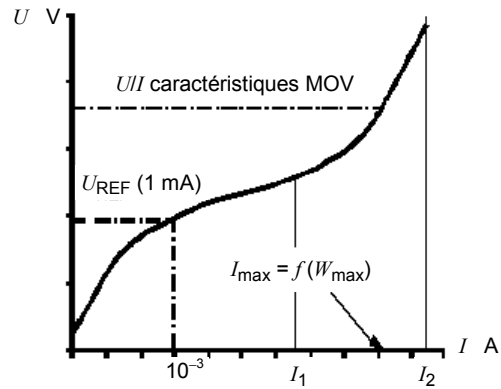
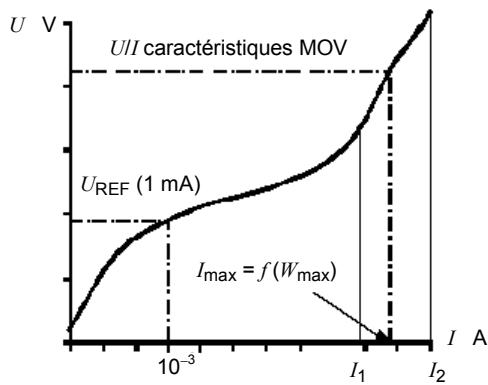
Figure C.6 – Example with voltage-switching type spark gap and voltage-limiting type MOV

Figure C.7 shows the procedure for determination of the required decoupling inductance for both criteria: the 10/350 μ s lightning current as well as the 0,1kA/ μ s minimum lightning current steepness. The dynamic voltage/current characteristics of both SPDs shall be considered to determine the decoupling element required. The condition for successful coordination requires the spark gap to ignite before the energy withstand of the MOV is exceeded.



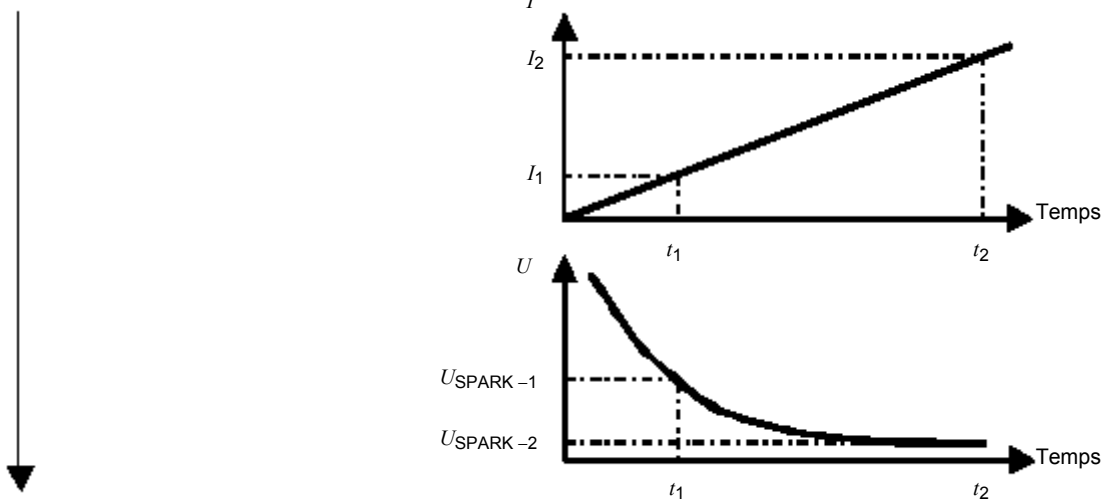
Condition tension $U_1 = U_2 + U_{DE} = U_2 + L \times di/dt$
 Amorçage éclateur $U_1 = U_{SPARK}$
 Pour coordination d'énergie Amorçage éclateur avant que la tenue en énergie W_{max} de la varistance ne soit atteinte

Coordination d'énergie avec 10/350 μ s	Coordination d'énergie avec 0,1kA/ μ s
--	--



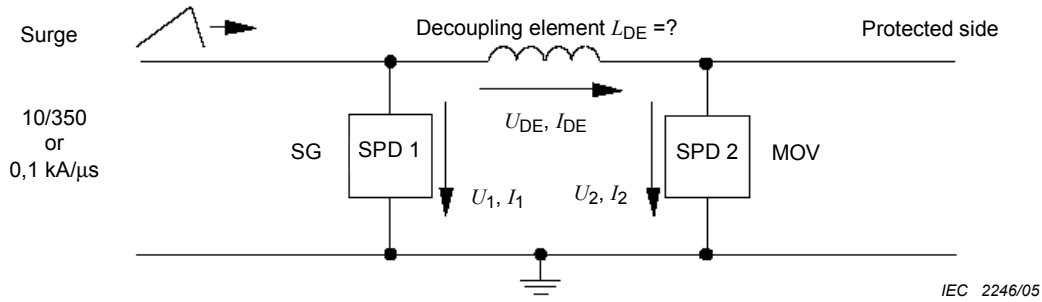
$(I_1 < I_{max}$ pour $(L_{DE-1} \geq L_{DE-10/350})$
 $(I_2 > I_{max}$ pour $(L_{DE-2} \leq L_{DE-10/350})$

$(I_1 < I_{max}$ pour $(L_{DE-1} \geq L_{DE-0,1kA/\mu s})$
 $(I_2 > I_{max}$ pour $(L_{DE-2} \leq L_{DE-0,1kA/\mu s})$



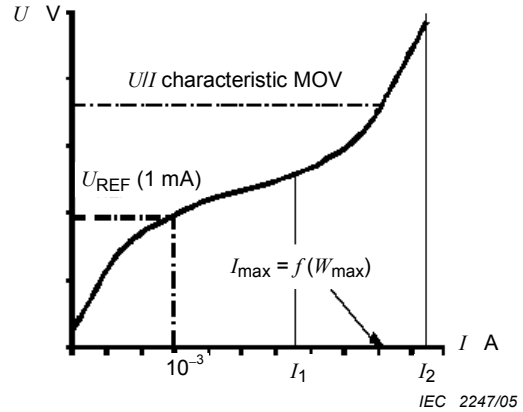
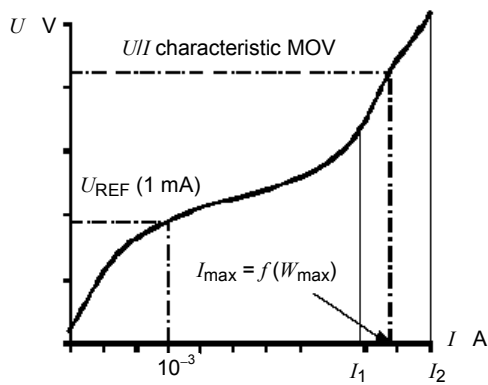
$L_{DE} = (U_{SPARK} - U_2) / (di/dt)$ où $U_2 = f(I_{max})$	
$L_{DE-10/350 \mu s} = (U_{SPARK} - U_2) / (I_{max} / 10 \mu s)$	$L_{DE-0,1kA/\mu s} = (U_{SPARK} - U_2) / (0,1kA/\mu s)$
Le L_{DE} exigé est la valeur la plus élevée des deux inductances $L_{DE-10/350 \mu s}$ et $L_{DE-0,1kA/\mu s}$	

Figure C.7 – Principe pour la détermination de l'inductance de découplage pour des chocs de 10/350 μ s et 0,1 kA/ μ s



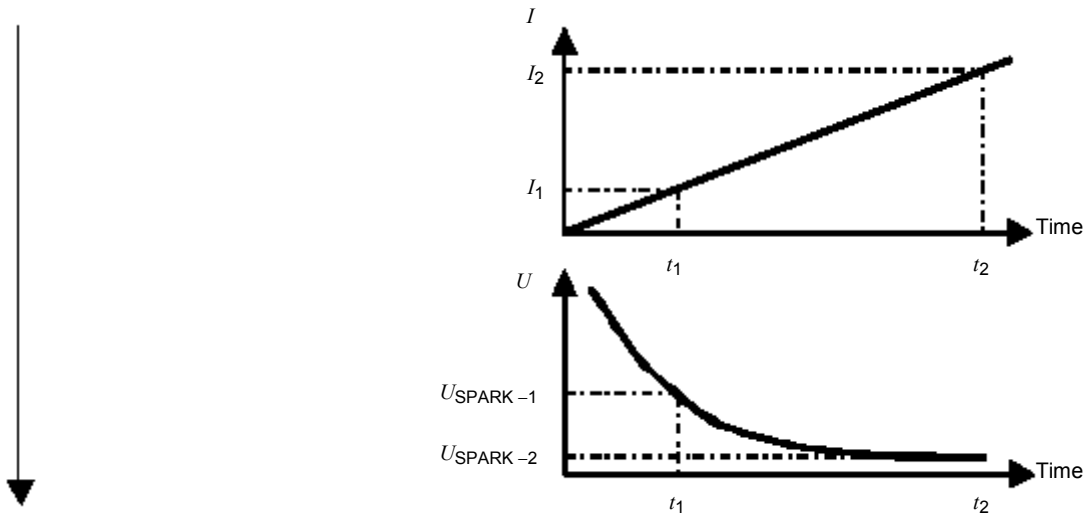
Voltage condition $U_1 = U_2 + U_{DE} = U_2 + L \cdot di/dt$
 Ignition of SG $U_1 = U_{SPARK}$
 Coordination achieved Ignition of SG before withstand energy W_{max} of MOV is exceeded

Energy coordination with 10/350 μs surge	Energy coordination with 0,1 kA/μs surge
--	--



$(I_1 < I_{max}$ for $(L_{DE-1} \geq L_{DE-10/350})$
 $(I_2 > I_{max}$ for $(L_{DE-2} \leq L_{DE-10/350})$

$(I_1 < I_{max}$ for $(L_{DE-1} \geq L_{DE-0,1kA/\mu s})$
 $(I_2 > I_{max}$ for $(L_{DE-2} \leq L_{DE-0,1kA/\mu s})$



IEC 2248/05

$L_{DE} = (U_{SPARK} - U_2) / (di/dt)$ where $U_2 = f(I_{max})$	
$L_{DE-10/350 \mu s} = (U_{SPARK} - U_2) / (I_{max} / 10 \mu s)$	$L_{DE-0,1kA/\mu s} = (U_{SPARK} - U_2) / (0,1kA/\mu s)$
The required L_{DE} is the higher value of both inductances $L_{DE-10/350 \mu s}$ and $L_{DE-0,1kA/\mu s}$	

Figure C.7 – Determination of decoupling inductance for 10/350 μs and 0,1kA/μs surges

L'amorçage de l'éclateur dépend de sa tension d'amorçage U_{SPARK} et de la somme de la tension U_2 dans la varistance (parafoudre 2) et de la chute de tension dans l'élément de découplage U_{DE} . La tension U_2 dépend du courant i (voir caractéristique tension/courant de la varistance) et $U_{DE} = L_{DE} di/dt$ dépend de la raideur du courant.

Dans le cas d'un courant de choc 10/350 μs , la raideur $di/dt \approx I_{max} / 10 \mu s$ dépend de l'amplitude admise I_{max} (déterminée par W_{max} de la varistance). Comme U_{DE} et U_2 sont fonction de I_{max} , la tension U_1 dans l'éclateur dépend aussi de I_{max} . Plus I_{max} est élevé, plus la raideur de U_1 dans l'éclateur est élevée. Pour ce critère, la tension de fonctionnement de l'éclateur U_{SPARK} est généralement donnée par la surtension de choc à 1 kV/ μs .

Pour une rampe 0,1 kA/ μs , la raideur du courant $di/dt = 0,1$ kA/ μs est constante. La chute de tension dans U_{DE} est aussi constante car U_2 est fonction de I_{max} comme avant. Ainsi la pente de la tension U_1 dans l'éclateur suit la caractéristique tension/courant de la varistance et est beaucoup plus faible que dans le premier cas. En raison de la caractéristique dynamique de fonctionnement de l'éclateur, sa tension d'amorçage décroît avec une chute de tension plus longue dans l'éclateur (la durée dépend de I_{max} due à la tenue en énergie W_{max} de la varistance). De plus, la tension d'amorçage U_{SPARK} est supposée diminuée à la tension de presque 500V/s pour l'accroissement du courant à travers la varistance.

La valeur la plus élevée des inductances $L_{DE-10/350 \mu s}$ et $L_{DE-0,1kA/\mu s}$ doit être finalement appliquée pour l'inductance de découplage L_{DE} . Voir comme exemples les Figures C.8 et C.9.

NOTE Pour la détermination d'un élément de découplage dans le cas d'une alimentation basse tension, le cas le plus défavorable est donné par un court-circuit sur le parafoudre 2 ($U_2 = 0$), donnant une valeur maximale de U_{DE} . Si le parafoudre 2 est à limitation de tension, sa tension résiduelle $U_2 > 0$ réduira considérablement U_{DE} . La tension résiduelle est au moins supérieure à la valeur crête de la tension d'alimentation nominale (par exemple, dans un système à courant alternatif avec une alimentation nominale de 230 V, la tension crête est $\sqrt{2} \times 230 V = 325 V$. Prendre en compte la tension résiduelle du parafoudre 2 permet d'obtenir une des dimensions valables des éléments de découplage. Sinon l'élément de découplage serait surdimensionné.

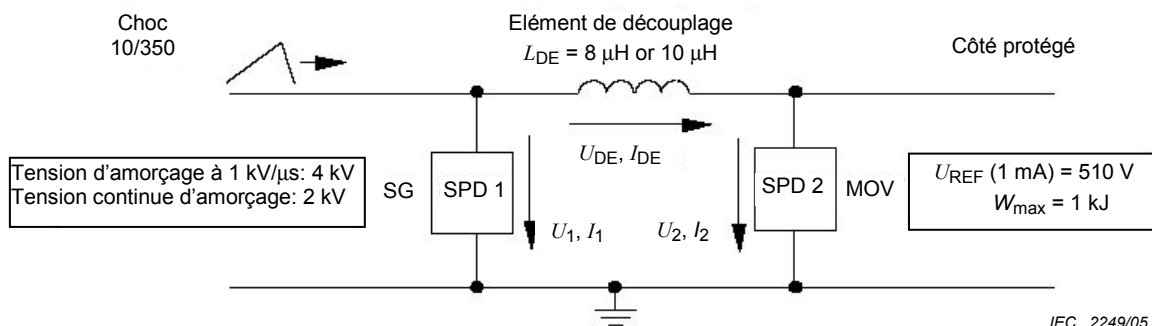


Figure C.8a – Circuit pour la coordination en onde de choc 10/350 μs

The ignition of the spark gap depends on its spark over voltage U_{SPARK} and on the sum of the voltage U_2 across the MOV (SPD 2) and of the voltage across the decoupling element U_{DE} . The voltage U_2 depends on the current i (see voltage/current characteristic of the MOV), whereas the voltage $U_{\text{DE}} = L_{\text{DE}} di/dt$ depends on the current steepness.

For the 10/350 μs surge, the current steepness $di/dt \approx I_{\text{max}}/10 \mu\text{s}$ depends on the permissible amplitude I_{max} of the MOV (determined from its energy withstand W_{max}). Because both voltages U_{DE} and U_2 are functions of I_{max} , the voltage U_1 across the spark gap depends also on I_{max} . The higher I_{max} , the higher the steepness of the voltage U_1 across the spark gap. For this criterion therefore, the spark-over voltage U_{SPARK} of the spark gap is usually described by the impulse sparkover voltage at 1 kV/ μs .

For the 0,1 kA/ μs ramp, the current steepness $di/dt = 0,1 \text{ kA}/\mu\text{s}$ is constant. Thus the voltage U_{DE} is constant too, whereas the voltage U_2 is a function of I_{max} as before. The steepness of the voltage U_1 across the spark gap therefore follows the voltage/current characteristic of the MOV and is much lower compared to the first case. Because of the dynamic operating voltage characteristic of the spark gap, its spark over voltage decreases with a longer duration of the voltage drop across the spark gap. (This duration depends on I_{max} derived from the withstand energy W_{max} of the MOV.) Hence, the sparkover voltage U_{SPARK} should be assumed to decrease almost to the DC-operating voltage at 500 V/s for increasing duration of current flowing through the MOV.

The higher value of both inductances $L_{\text{DE-10/350 } \mu\text{s}}$ and $L_{\text{DE-0,1kA}/\mu\text{s}}$ finally shall be applied for the decoupling inductance L_{DE} . See Figures C.8 and C.9 for examples.

NOTE For the determination of a decoupling element in a low-voltage power system, the worst case would be a short-circuit at SPD 2 ($U_2 = 0$), hence maximizing the required voltage U_{DE} . Where SPD 2 is a voltage-limiting type it has a residual voltage $U_2 > 0$, which will considerably reduce the required voltage U_{DE} . This residual voltage is at least higher than the peak voltage of the power supply (e.g. AC nominal voltage 230 V: peak value $\sqrt{2} \cdot 230 \text{ V} = 325 \text{ V}$). Taking into account the residual voltage of SPD 2 allows one to suitably dimension the decoupling elements. Otherwise they would be over-dimensioned.

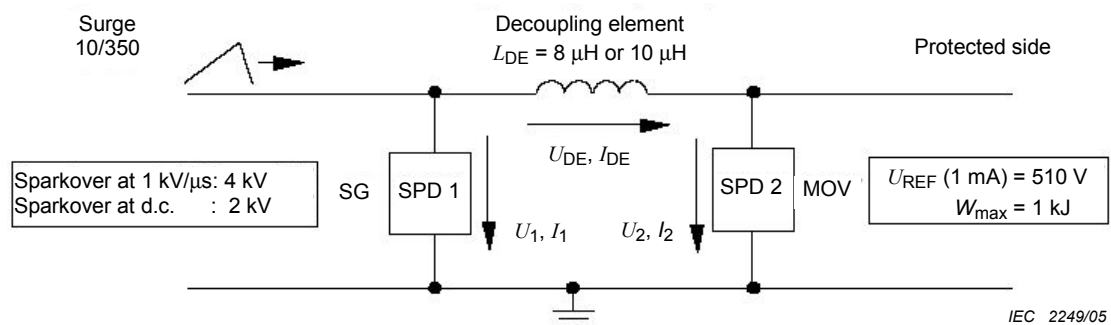


Figure C.8a – Circuit diagram of coordination for a 10/350 μs surge

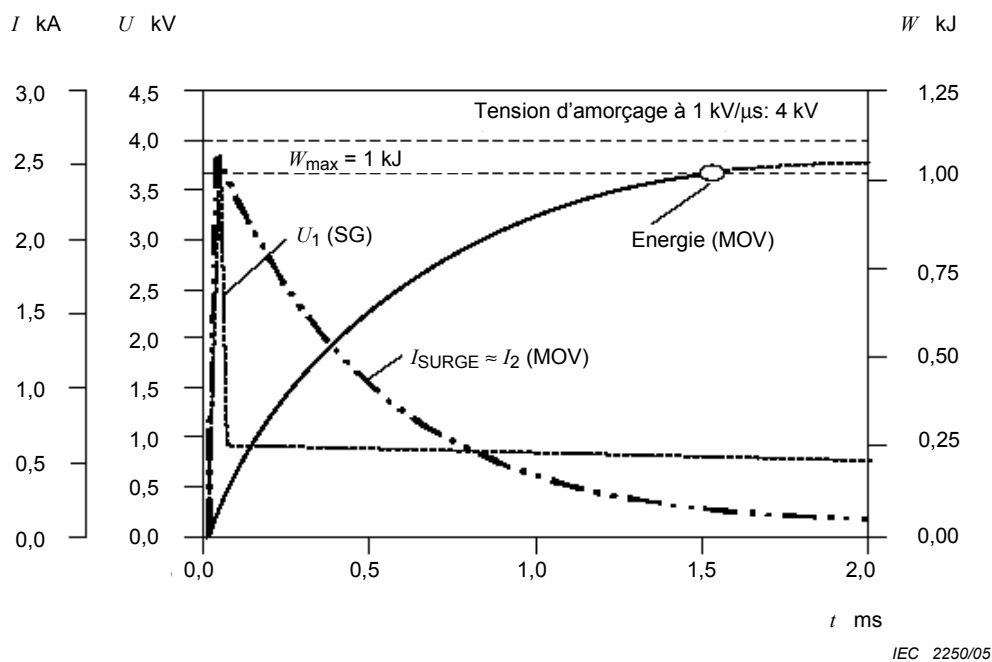


Figure C.8b – Caractéristiques courant/tension/énergie pour $L_{DE} = 8 \mu H$ – Pas de coordination en choc 10/350 (non amorçage de l'éclateur)

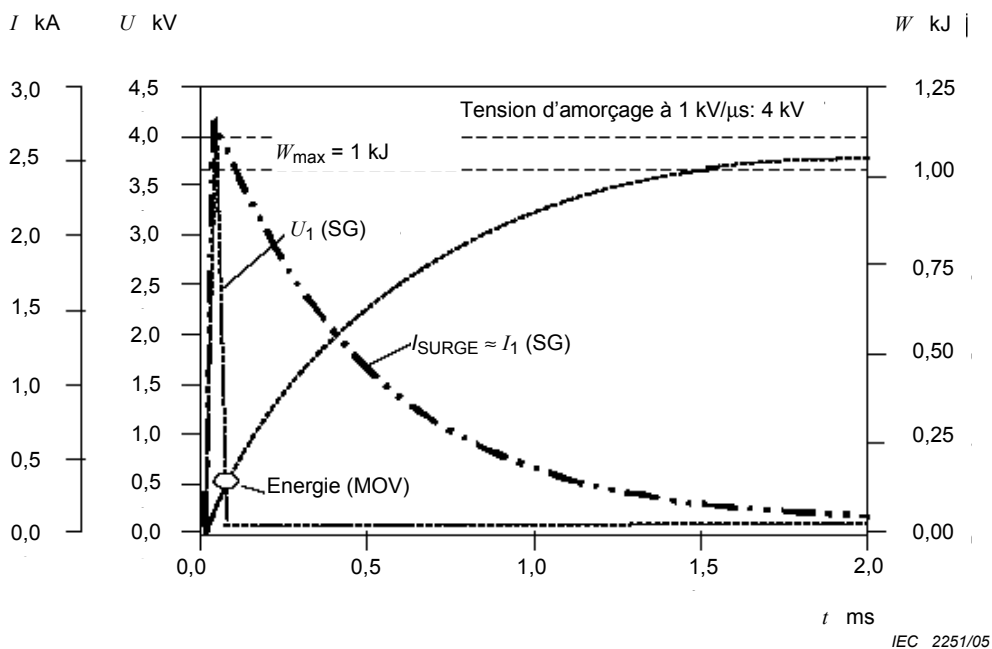


Figure C.8c – Caractéristiques courant/tension/énergie pour $L_{DE} = 10 \mu H$ – Coordination en choc 10/350 μs (amorçage de l'éclateur)

Figure C.8 – Exemple de coordination d'un éclateur et d'une varistance en onde de choc 10/350 μs

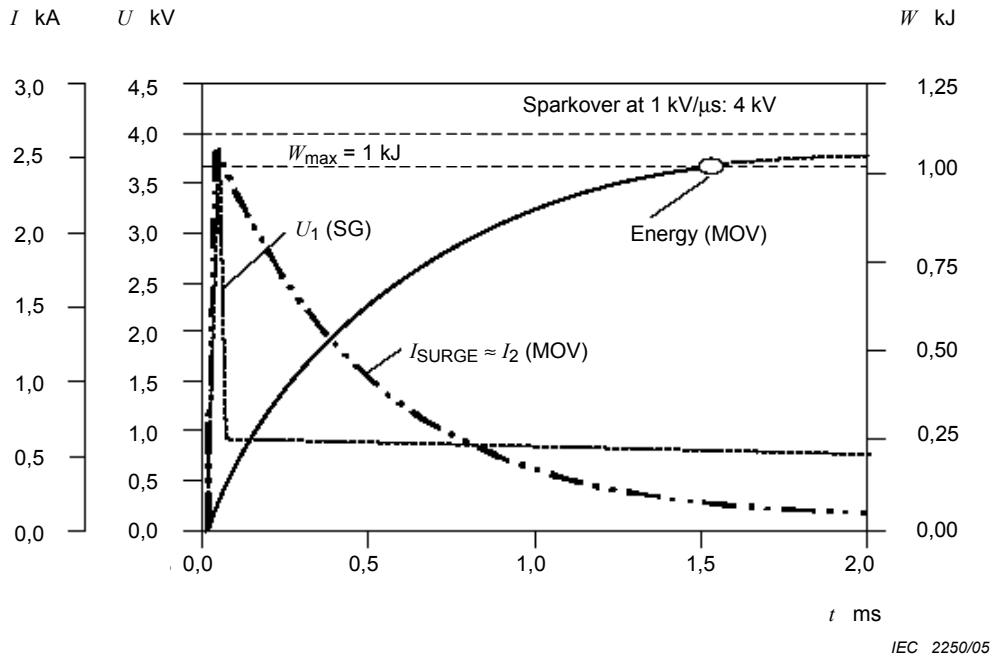


Figure C.8b – Current/voltage/energy characteristics for $L_{DE} = 8 \mu\text{H}$ – Energy coordination for a 10/350 surge not achieved (spark gap not ignited)

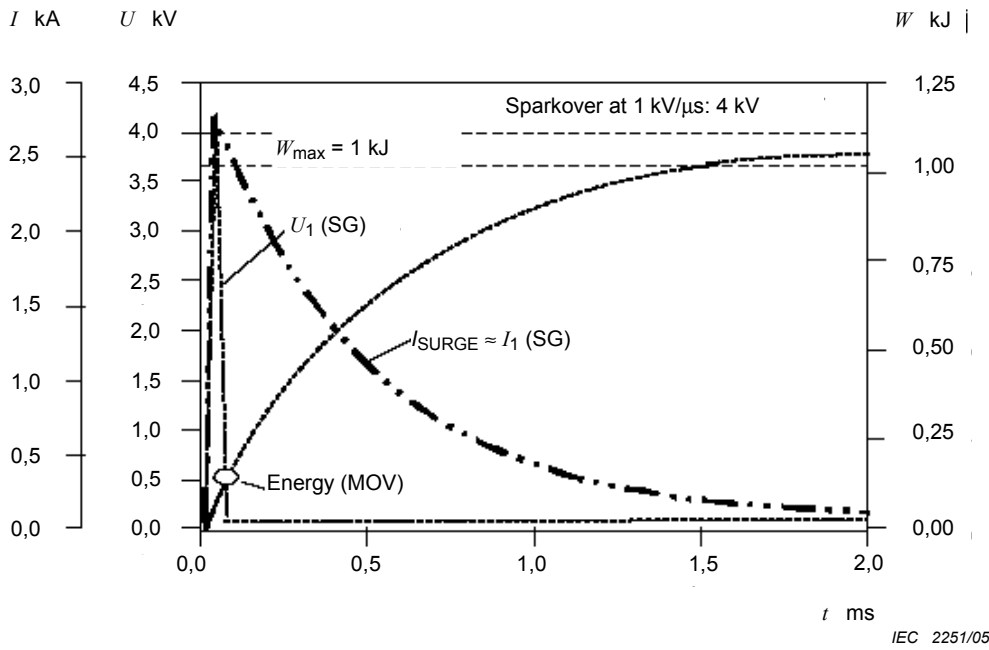


Figure C.8c – Current/voltage/energy characteristics for $L_{DE} = 10 \mu\text{H}$ – Energy coordination for a 10/350 μs surge achieved (spark gap ignited)

Figure C.8 – Example with spark gap and MOV for a 10/350 μs surge

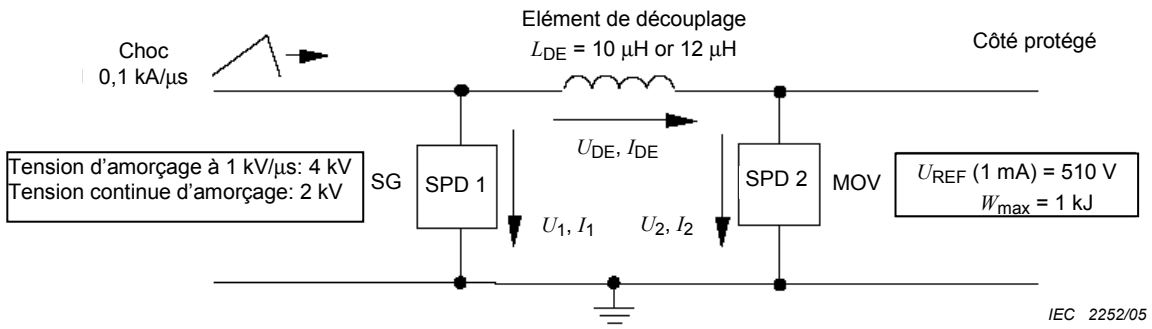


Figure C.9a – Circuit pour la coordination en onde de choc 0,1 kA/μs

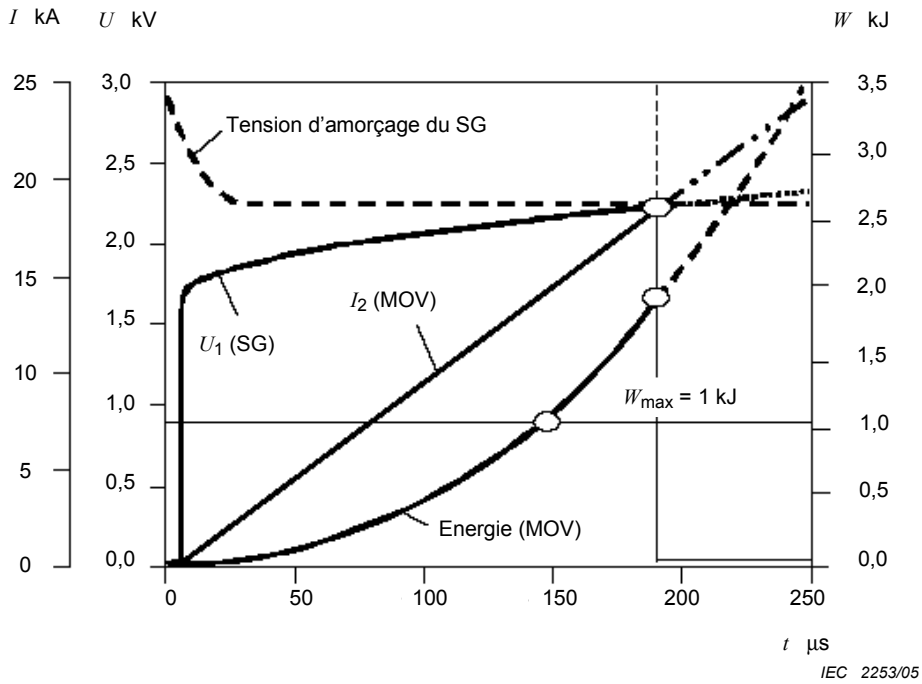


Figure C.9b – Caractéristiques courant/tension/énergie pour $L_{DE}=10 \mu H$ – Pas de coordination en choc – 0,1 kA/μs

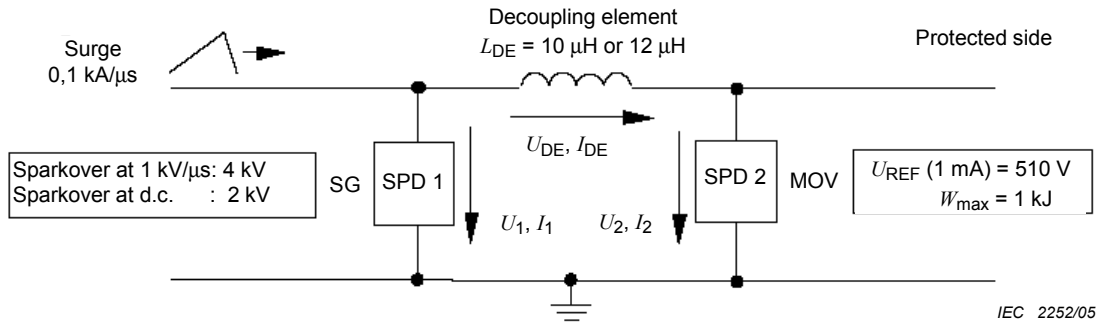


Figure C.9a – Circuit diagram of coordination for a 0,1kA/μs surge

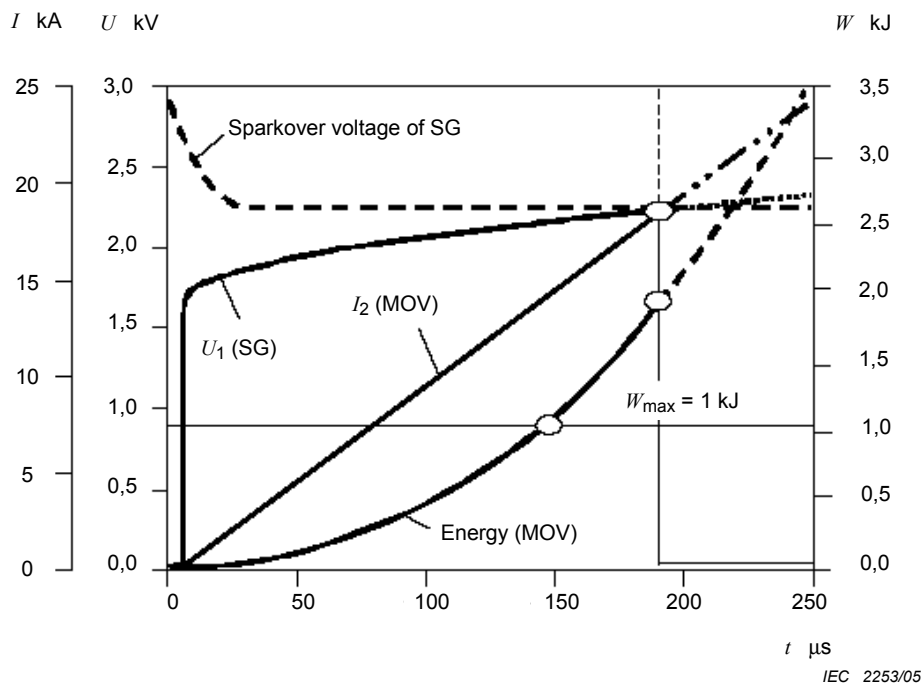


Figure C.9b – Current/voltage/energy characteristics for $L_{DE}=10 \mu\text{H}$ – Energy coordination for a 0,1kA/μs surge not achieved

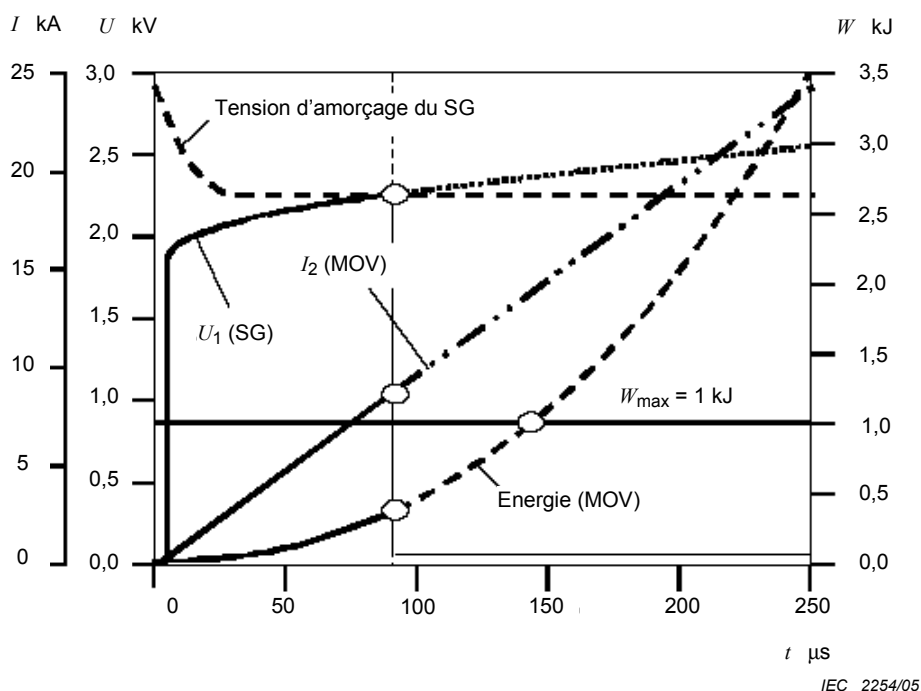


Figure C.9c – Caractéristiques courant/tension/énergie pour $L_{DE}=12 \mu\text{H}$ – Coordination en choc $0,1 \text{ kA}/\mu\text{s}$

Figure C.9 – Exemple de coordination entre un éclateur et une varistance en choc $0,1 \text{ kA}/\mu\text{s}$

C.2.4 Coordination entre deux parafoudres à coupure de tension

Cette variante de coordination est décrite, par exemple, par des éclateurs. Pour la coordination entre éclateurs, les caractéristiques dynamiques de fonctionnement doivent être utilisées.

Après l’amorçage de l’éclateur 2, la coordination sera réalisée par un élément de découplage. Pour déterminer sa valeur, il convient que l’éclateur 2 soit remplacé par un court-circuit. Pour l’amorçage de l’éclateur 1, la chute de tension dynamique dans l’élément de découplage doit être supérieure à la tension de fonctionnement de l’éclateur 1.

Si des inductances sont utilisées comme éléments de découplage, la tension U_{DE} dépend essentiellement de la raideur du courant de choc. C’est pourquoi la forme d’onde et la raideur du courant de choc doivent être considérées.

Si des résistances sont utilisées comme éléments de découplage, la tension U_{DE} dépend essentiellement de la valeur crête du courant de choc. Cette valeur doit être aussi considérée lors du choix des paramètres de choc du dispositif.

Après amorçage de l’éclateur 1, l’énergie totale sera divisée conformément aux caractéristiques de courant permanent et de tension des éléments individuels.

NOTE Pour des éclateurs et des parafoudres à décharge de gaz, le front de choc est essentiel.

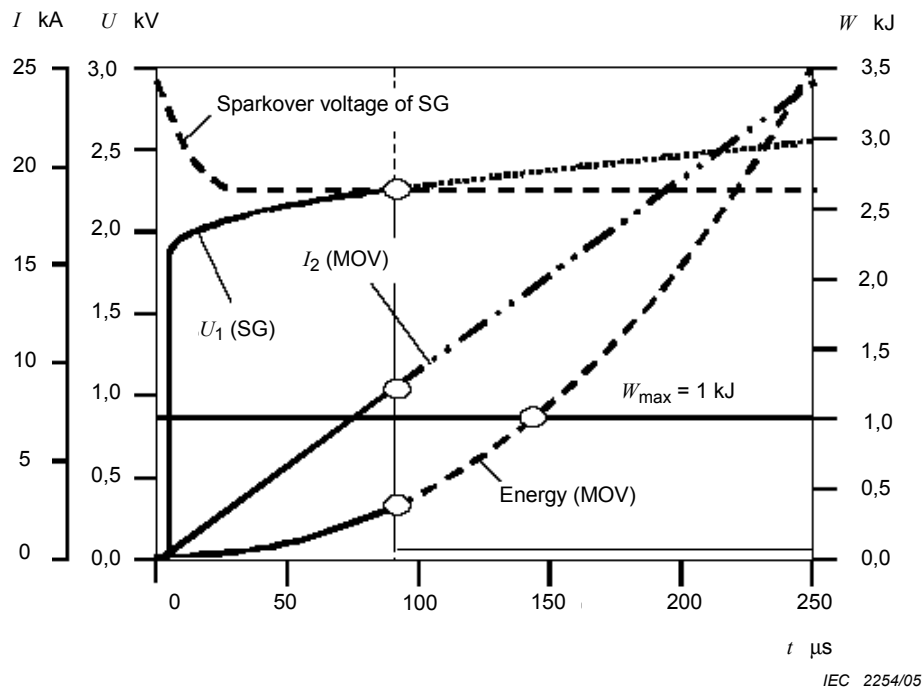


Figure C.9c – Current/voltage/energy characteristics for $L_{\text{DE}}=12 \mu\text{H}$ – Energy coordination for a $0,1\text{kA}/\mu\text{s}$ surge achieved

Figure C.9 – Example with spark gap and MOV for $0,1\text{kA}/\mu\text{s}$ surge

C.2.4 Coordination of two voltage switching type SPDs

This coordination variant is described using spark gaps (SG) as example technologies. For the coordination between spark gaps, the dynamic operating characteristics shall be considered.

After ignition of SG 2, the coordination will be realised by means of a decoupling element. To determine the required value of the decoupling element, SG 2 can be replaced by a short-circuit. For the ignition of SG 1, the dynamic voltage drop across the decoupling element shall be higher than the operating voltage of SG 1.

Using inductances as decoupling elements, the required U_{DE} depends mainly on the steepness of the surge current. Therefore waveshape and steepness of the surge shall be considered.

Using resistances as decoupling elements, the required U_{DE} depends mainly on the peak value of the surge current. This value shall also be considered when selecting the pulse rating parameters of the decoupling element.

After the ignition of the SG 1, the total energy will be divided according to the voltage/current characteristics of the individual elements.

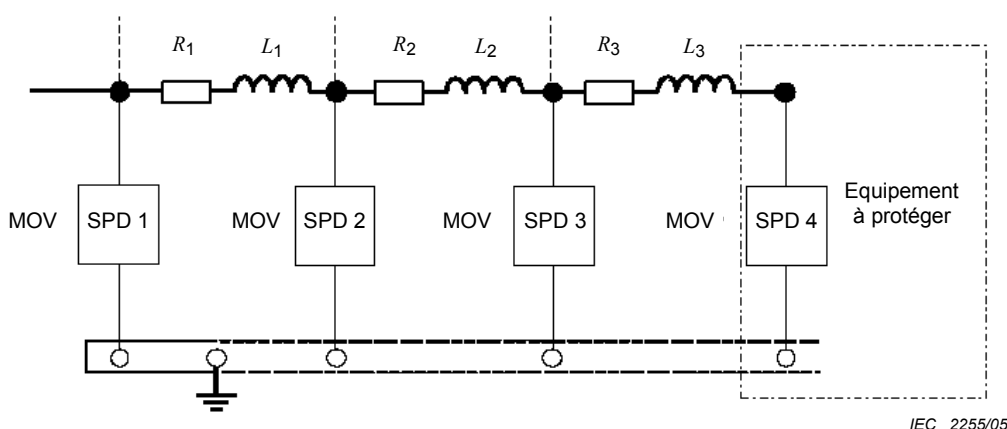
NOTE In the case of spark gaps or gas discharge tubes, the impulse steepness is of primary significance.

C.3 Variantes de coordination de base pour les systèmes de protection

Il existe quatre variantes de coordination pour les systèmes de protection. Les trois premières se fondent sur les technologies des parafoudres à un seul port. La quatrième variante est relative aux parafoudres à deux ports avec des éléments intégrés de découplage. En utilisant ces variantes de coordination, il est aussi nécessaire de prendre en compte les parafoudres éventuellement intégrés dans les équipements à protéger.

C.3.1 Variante I

Tous les parafoudres doivent présenter une caractéristique continue tension/courant (tels que varistances, diodes) et la même tension résiduelle U_{RES} . La coordination entre parafoudres et équipement à protéger est normalement réalisée par l'impédance des lignes entre eux (voir Figure C.10).



$$U_{RES} (\text{SPD 1}) = U_{RES} (\text{SPD 2}) = U_{RES} (\text{SPD 3}) = U_{RES} (\text{SPD 4})$$

Figure C.10 – Principe de coordination selon la variante I – Parafoudre à limitation en tension

C.3.2 Variante II

Tous les parafoudres présentent une caractéristique continue courant/tension (tels que varistances, diodes). La tension résiduelle U_{RES} des parafoudres est choisie par paliers du parafoudre 1 au parafoudre 3 (voir Figure C.11).

C'est une variante utilisée pour les réseaux d'alimentation de puissance.

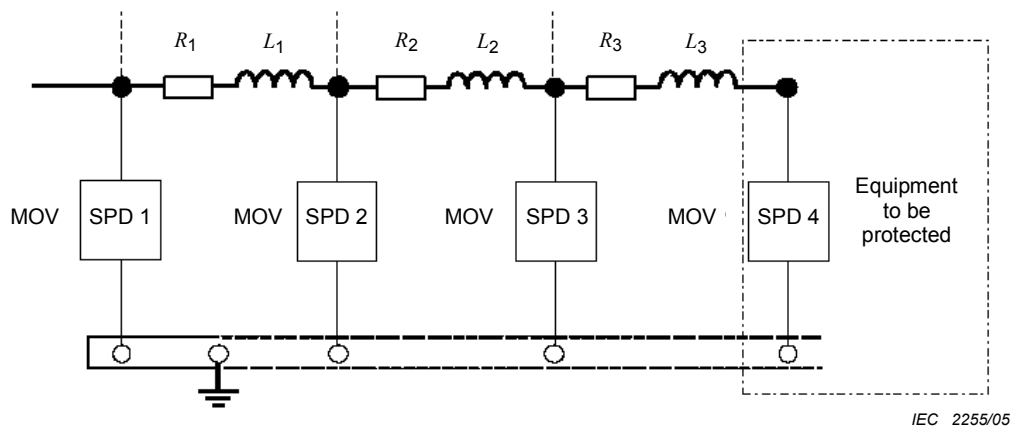
NOTE Cette variante nécessite que la tension résiduelle des composants de protection dans les équipements à protéger (SPD 4) soit plus élevée que celle du parafoudre installé immédiatement en amont (SPD 3).

C.3 Basic coordination variants for protection systems

There are four coordination variants for protection systems: The first three use one-port SPDs, whereas the fourth uses two-port SPDs with integrated decoupling elements. These coordination variants should be considered (also taking into account SPDs integrated in the equipment to be protected).

C.3.1 Variant I

All SPDs have a continuous voltage/current characteristic (e.g. MOVs or suppressor diodes) and the same residual voltage U_{RES} . The coordination of the SPDs and of the equipment to be protected is normally achieved by the impedances of lines between them (see Figure C.10).



$$U_{RES} (\text{SPD 1}) = U_{RES} (\text{SPD 2}) = U_{RES} (\text{SPD 3}) = U_{RES} (\text{SPD 4})$$

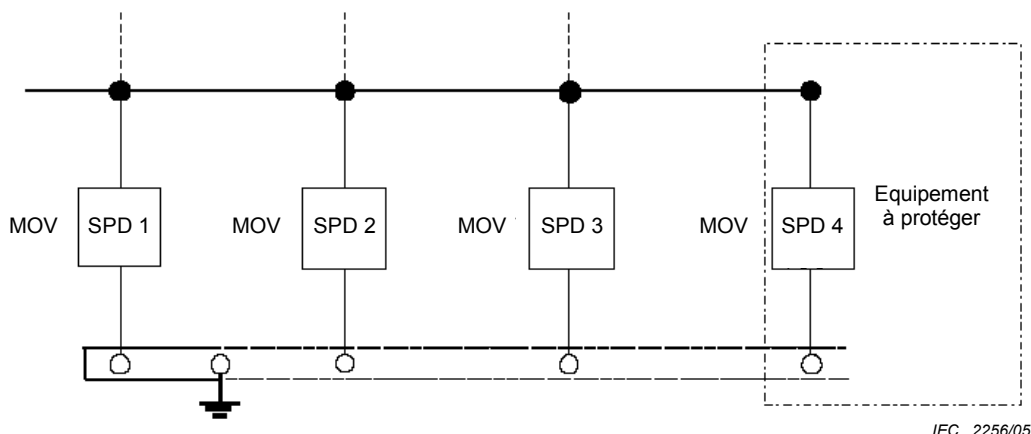
Figure C.10 – Coordination variant I – Voltage-limiting type SPD

C.3.2 Variant II

All SPDs have a continuous voltage/current characteristic (e.g. MOVs or suppressor diodes). The residual voltage U_{RES} rises stepwise from SPD 1 to SPD 3 (see Figure C.11).

This is a coordination variant for power supply systems.

NOTE This variant requires that the residual voltage of the protective component inside the equipment to be protected (SPD 4) is higher than the residual voltage of the SPD installed directly before (SPD3).



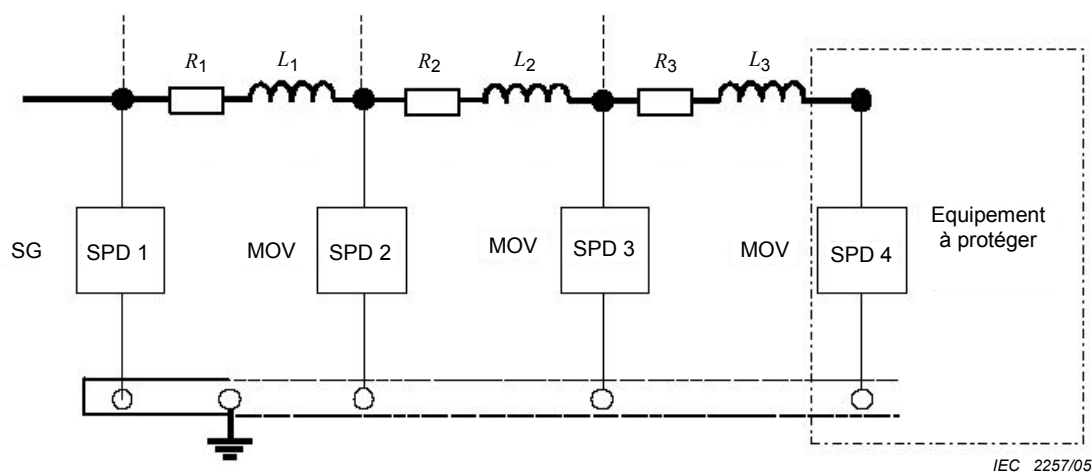
$$U_{RES} (SPD 1) < U_{RES} (SPD 2) < U_{RES} (SPD 3) < U_{RES} (SPD 4)$$

Figure C.11 – Principe de coordination selon la variante II – Parafoudre à limitation en tension

C.3.3 Variante III

Le parafoudre 1 présente une caractéristique discontinue courant/tension (analogue à un éclateur). Les parafoudres en aval présentent une caractéristique continue courant/tension (tels que varistances ou diodes écrêteuses). Tous les parafoudres ont la même tension résiduelle U_{RES} (voir Figure C.12).

La caractéristique de cette variante est que, par «comportement en coupure» du parafoudre amont, une réduction du temps jusqu'à mi-valeur du courant de choc $10/350 \mu s$ est réalisée, ce qui entraîne un soulagement considérable pour les parafoudres en cascade.

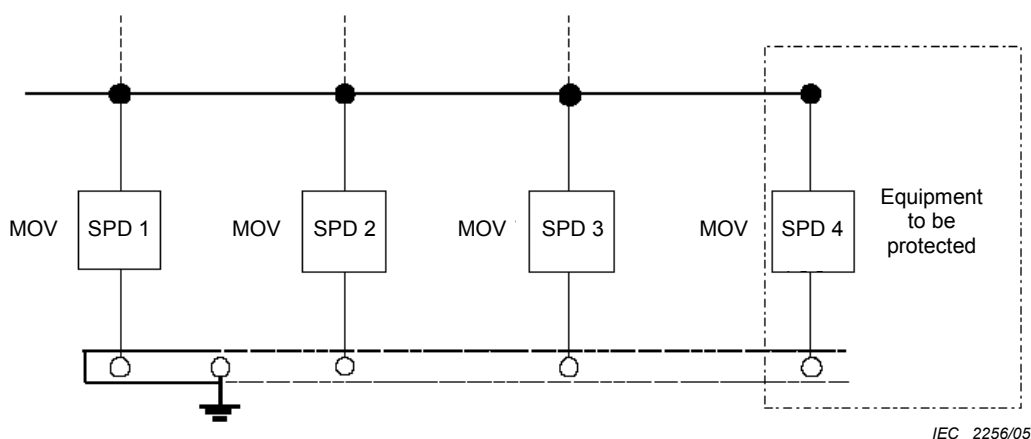


$$U_{RES} (SPD 1) < U_{RES} (SPD 2) < U_{RES} (SPD 3) < U_{RES} (SPD 4)$$

Figure C.12 – Principe de coordination selon la variante III – SPD à coupure de tension/SPD à limitation en tension

C.3.4 Variante IV

Il est possible de réaliser des parafoudres à deux ports incorporant des étages en cascade coordonnés en interne par des impédances série ou des filtres (voir Figure C.13). Une coordination réussie signifie un transfert minimal d'énergie vers les parafoudres aval ou les équipements. Il est recommandé que ces parafoudres soient totalement coordonnés avec les autres parafoudres du système selon les variantes appropriées I, II ou III.



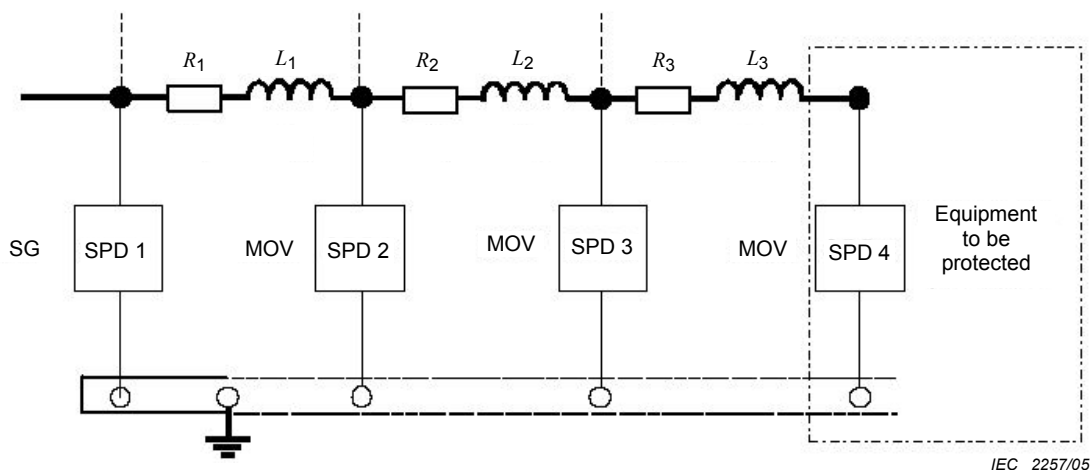
$$U_{\text{RES}} (\text{SPD 1}) < U_{\text{RES}} (\text{SPD 2}) < U_{\text{RES}} (\text{SPD 3}) < U_{\text{RES}} (\text{SPD 4})$$

Figure C.11 – Coordination variant II – Voltage-limiting type SPD

C.3.3 Variant III

SPD 1 has a discontinuous voltage/current characteristic (e.g. spark gaps). Subsequent SPDs have a continuous voltage/current characteristic (e.g. MOVs or suppressor diodes). All SPDs have the same residual voltage U_{RES} (see Figure C.12).

The characteristic of this variant is, that by the switching behaviour of SPD 1, a reduction of the time to half value of the original current impulse 10/350 μs will be achieved, which relieves the subsequent SPDs considerably.

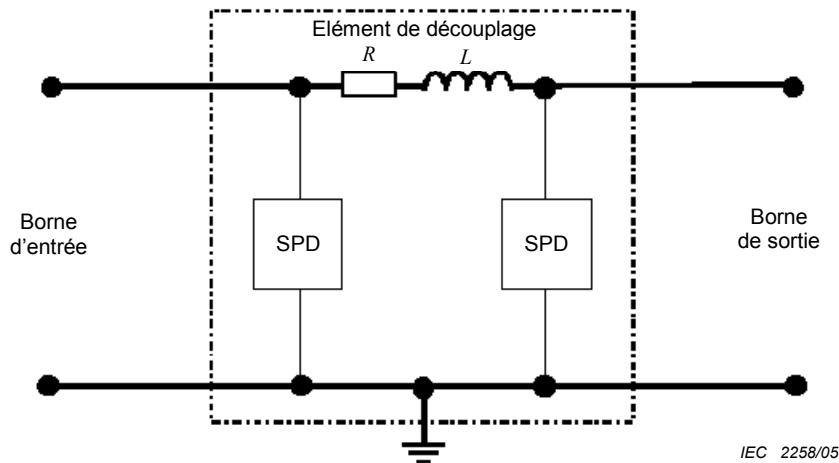


$$U_{\text{RES}} (\text{SPD 1}) < U_{\text{RES}} (\text{SPD 2}) < U_{\text{RES}} (\text{SPD 3}) < U_{\text{RES}} (\text{SPD 4})$$

Figure C.12 – Coordination variant III – Voltage-switching type SPD and voltage-limiting type SPD

C.3.4 Variant IV

Two-port SPDs are available which incorporate cascaded stages of SPDs internally coordinated with series impedances or filters (see Figure C.13). Successful internal coordination ensures minimum energy transfer to downstream SPDs or the equipment. These SPDs should be fully coordinated with other SPD in the system in accordance with variant I, II or III as appropriate.



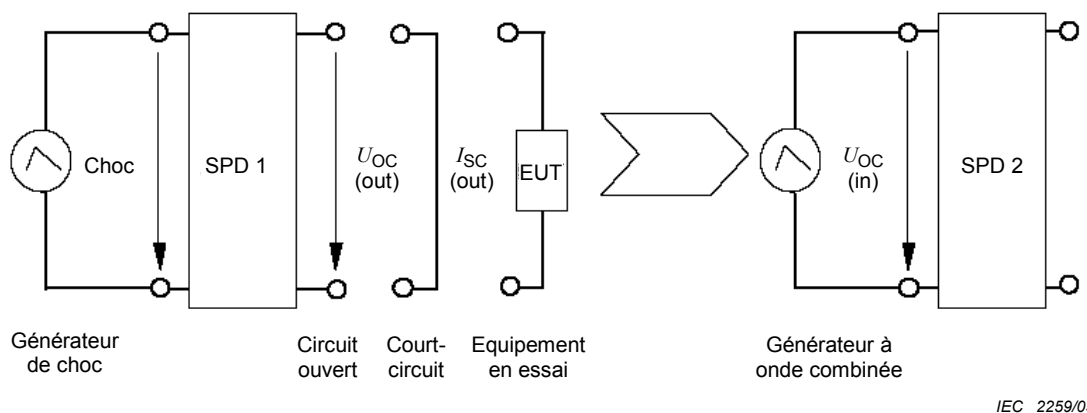
NOTE Les impédances en série du filtre peuvent être négligées si la coordination en énergie est assurée par d'autres moyens appropriés (par exemple coordination des caractéristiques tension/courant ou utilisation de parafoudres qui s'amorcent).

Figure C.13 – Principe de coordination selon la variante IV – Plusieurs SPD dans un seul élément

C.4 Méthode de coordination selon l'«énergie passante» (EP)

Des chocs issus d'un générateur à onde combinée peuvent être utilisés pour le choix et la coordination des parafoudres. Le principal avantage de cette méthode est la possibilité de considérer un parafoudre comme une boîte noire (voir Figure C.14). Pour un choc donné en entrée sur le parafoudre 1, non seulement la tension en circuit ouvert est déterminée, mais aussi le courant de sortie (principe de l'énergie passante). Ces caractéristiques de sortie sont converties en contrainte d'onde combinée 2Ω (tension en circuit ouvert $1,2/50 \mu s$, courant de court-circuit $8/20 \mu s$). L'avantage est qu'il n'est pas nécessaire de connaître la conception interne du parafoudre.

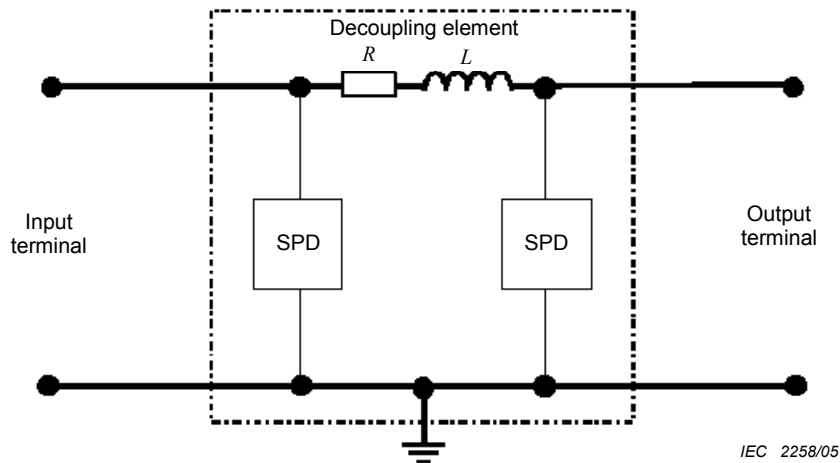
NOTE Cette méthode donne de bons résultats lorsque le parafoudre 2 n'influe pas sur le parafoudre 1. Cela signifie que les conditions de choc à l'entrée du parafoudre 2 sont quasiment celles du courant. C'est le cas lorsque les caractéristiques tension/courant du parafoudre 1 et du parafoudre 2 sont très différentes (par exemple dans le cas de la coordination entre un éclateur et une varistance).



$$U_{OC} \text{ (out) du SPD 1} \leq U_{OC} \text{ (in) du SPD 2}$$

Conversion de U_{OC} (sortie) et de I_{SC} (sortie) en onde combinée équivalente U_{OC} (onde $1,2/50 \mu s$), I_{SC} (onde $8/20 \mu s$), $Z_i = 2 \Omega$

Figure C.14 – Principe de coordination selon la méthode de l'«énergie passante»



IEC 2258/05

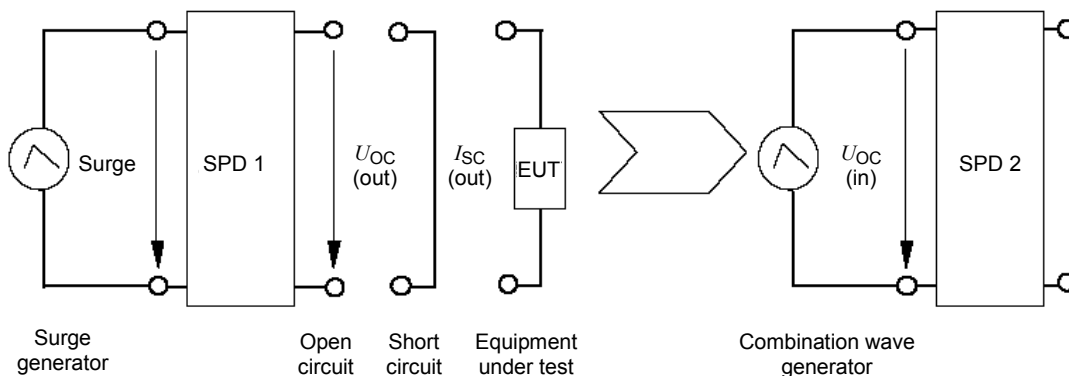
NOTE The series impedance or the filter can be omitted, if the energy coordination is assured by other suitable measures (e.g. coordination of the voltage/current characteristics or use of triggered SPDs).

Figure C.13 – Coordination variant IV – Several SPDs in one element

C.4 Coordination according to the “let-through energy” method

Impulses from a combination wave generator can be used to select and coordinate SPD. The main advantage of this method is the possibility to treat the SPD as a black box (see Figure C.14). For a given surge at the input of SPD 1, the output values of open-circuit voltages as well as of short-circuit currents, are determined (“let-through energy” method). These output characteristics are converted into an equivalent 2 Ω combination wave stress” (open circuit voltage 1,2/50 μs, short-circuit current 8/20 μs). The advantage is that there is no need for any special knowledge of the internal design of the SPD.

NOTE This method gives good results when SPD 2 has no feedback to SPD 1. This means that the surge conditions at the input of SPD 2 are quasi-impressed current conditions. This is given when the voltage/current characteristics of SPD 1 and SPD 2 are very different (e.g. the coordination of a spark gap with an MOV).



IEC 2259/05

$$U_{OC} (out) \text{ of SPD 1} \leq U_{OC} (in) \text{ of SPD 2}$$

Conversion of $U_{OC} (out)$ and $I_{SC} (out)$ into an equivalent combination wave:
 U_{OC} (1,2/50 μs waveshape), I_{SC} (8/20 μs waveshape), $Z_i = 2 \Omega$

Figure C.14 – Coordination according to the “let through energy” method

Le but de cette méthode de coordination est de rendre les valeurs d'entrée du parafoudre 2 (par exemple courant de décharge) comparables aux valeurs de sortie du parafoudre 1 (par exemple niveau de protection en tension).

Pour une protection coordonnée, l'onde combinée équivalente à la sortie du parafoudre 1 ne doit pas être supérieure à la forme d'onde que peut absorber sans dommage le parafoudre 2.

L'onde combinée équivalente à la sortie du parafoudre 1 doit être déterminée dans les conditions les plus défavorables de contraintes (I_{\max} , U_{\max} , énergie passante).

NOTE Des informations complémentaires relatives à cette méthode de coordination sont données dans la CEI 61643-12^[4].

C.5 Preuve de coordination

Il convient que la coordination soit démontrée par ce qui suit:

1) Essai de coordination

La démonstration de la coordination sur la base du cas par cas est possible.

2) Calcul

Par approximation pour des cas simples. Au moyen d'un programme de simulation pour des systèmes complexes.

3) Application de familles de parafoudres coordonnés

Dans ce cas, le constructeur des parafoudres doit démontrer la coordination.

The aim of this coordination method is to make the input values of SPD 2 (e. g. discharge current) comparable to the output values of SPD 1 (e.g. voltage protection level).

For proper coordination, the equivalent combination wave at the output of SPD 1 shall not exceed the combination wave which can be absorbed by SPD 2 without damage.

The equivalent combination wave at the output of SPD 1 shall be determined for the worst-case stress (I_{\max} , U_{\max} , let-through energy).

NOTE Additional information concerning this coordination method is given in IEC 61643-12 ^[4].

C.5 Proving coordination

The energy coordination should be proved by the following:

- 1) Coordination test

Coordination can be demonstrated on a case-by-case basis.

- 2) Calculation

Simple cases can be approximated while complex systems may require computer simulation.

- 3) Application of coordinated SPD families

The manufacturer of the SPDs shall prove that coordination is achieved.

Annexe D (informative)

Choix et mise en œuvre de parafoudres coordonnés

Pour des réseaux de puissance et de communication complexes, il faut prendre en compte les deux réseaux ensemble pour le choix et la mise en œuvre d'une protection par parafoudres coordonnée.

D.1 Choix des parafoudres

D.1.1 Choix vis-à-vis du niveau de protection

Il convient que le niveau de protection contre les chocs U_w des matériels soit défini:

- pour les réseaux de puissance et leurs matériels, selon la CEI 60664-1,
- pour les réseaux de communication et leurs matériels, selon l'UIT-T K.20 et l'UIT-T K.21,
- pour les autres réseaux et leurs matériels, selon les informations obtenues auprès des constructeurs.

Un réseau interne est protégé si

- a) sa tenue aux chocs U_w est supérieure ou égale à son niveau de protection U_p du parafoudre avec une marge nécessaire pour tenir compte de la chute de tension dans des conducteurs de liaison;
- b) il est coordonné en énergie avec le parafoudre amont.

NOTE 1 Le niveau de protection U_p d'un parafoudre est lié à sa tension résiduelle pour un courant nominal défini I_n . Pour des courants plus forts ou plus faibles s'écoulant dans le parafoudre, la valeur de la tension aux bornes du parafoudre sera différente.

NOTE 2 Si un parafoudre mis en œuvre de manière très proche du matériel à protéger, la chute de tension inductive ΔU dans les liaisons s'ajoutera au niveau de protection U_p du parafoudre. Ainsi, le niveau de protection résultant $U_{p/ff}$ est défini comme la somme de la tension en sortie du parafoudre résultant du niveau de protection et de la chute de tension dans les liaisons (voir Figure D.1):

$$U_{p/ff} = U_p + \Delta U \quad \text{pour un parafoudre de type à limitation;}$$

$$U_{p/ff} = \max(U_p, \Delta U) \quad \text{pour un parafoudre de type à coupure.}$$

Pour certains parafoudres à coupure, il peut être nécessaire d'ajouter la tension d'arc à ΔU . Cette tension d'arc peut être de plusieurs centaines de volts. Pour des parafoudres combinés, une formule plus complexe peut être nécessaire.

Si le parafoudre écoule un courant de foudre partiel, une chute de tension dans les conducteurs de connexion $\Delta U = 1$ kV par m est choisie, ou au moins une marge de sécurité de 20 % est présumée, pour une longueur inférieure ou égale à 0,5 m. Si le parafoudre n'écoule que des surtensions induites, ΔU peut être négligée.

NOTE 3 Il est recommandé de comparer le niveau de protection U_p avec la tension de tenue aux chocs U_w du matériel essayé dans les mêmes conditions que le parafoudre (surtension, surintensité et énergie). Cette question est à l'étude.

NOTE 4 Des matériels peuvent intégrer des parafoudres. Les caractéristiques de ces parafoudres peuvent influencer sur la coordination.

Annex D (informative)

Selection and installation of a coordinated SPD protection

In complex electrical and electronic systems both power and signal circuits must be taken into account for the selection and installation of a suitable coordinated SPD protection.

D.1 Selection of SPD

D.1.1 Selection with regard to voltage protection level

The impulse withstand voltage U_w of the equipment to be protected should be defined for:

- power lines and equipment terminals according to IEC 60664-1,
- telecom lines and equipment terminals according to ITU-T K.20 and K.21,
- other lines and equipment terminals according to information obtained from the manufacturer.

Internal systems are protected if:

- their impulse withstand voltage U_w is greater than or equal to the voltage protection level U_p of the SPD plus a margin necessary to take into account the voltage drop of the connecting conductors;
- they are energy coordinated with the upstream SPD.

NOTE 1 The protection level U_p of an SPD is related to the residual voltage at a defined nominal current I_n . For higher or lower currents passing through the SPD, the value of voltage at the SPD terminals will change accordingly.

NOTE 2 When an SPD is connected to equipment to be protected, the inductive voltage drop ΔU of the connecting conductors will add to the protection level U_p of the SPD. The resulting effective protection level, $U_{p/ft}$, defined as the voltage at the output of the SPD resulting from the protection level and the wiring voltage drop in the leads/connections (see Figure D.1), can be assumed as being:

$$U_{p/ft} = U_p + \Delta U \quad \text{for voltage-limiting type SPDs;}$$

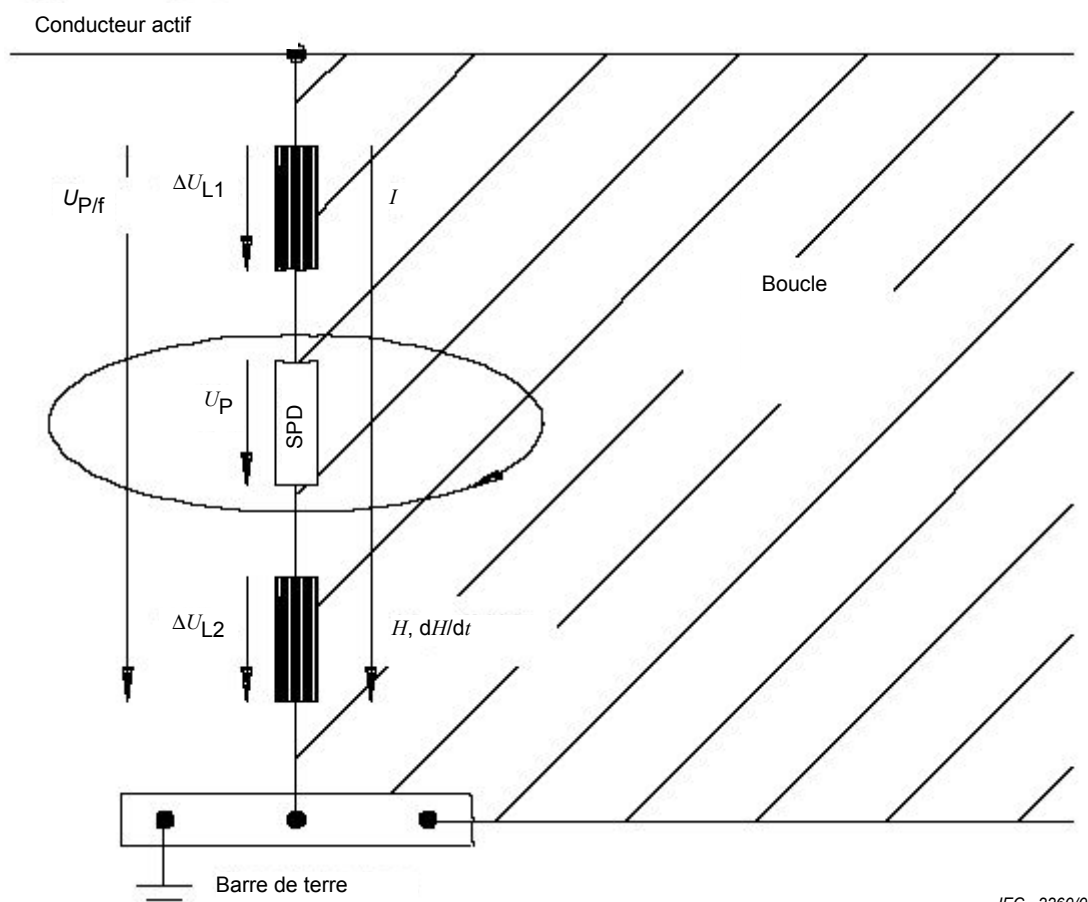
$$U_{p/ft} = \max(U_p, \Delta U) \quad \text{for voltage-switching type SPDs.}$$

For some switching type SPDs it may be required to add the arc voltage to ΔU . This arc voltage may be as high as some hundreds of volts. For combination type SPDs, more complex formulas may be needed.

When the SPD is carrying the partial lightning current, $\Delta U = 1$ kV per m length, or at least a safety margin of 20 %, should be assumed when the length of the connection conductors is $\leq 0,5$ m. When the SPD is carrying induced surges only, ΔU can be neglected.

NOTE 3 The voltage protection level U_p should be compared with the impulse withstand voltage U_w of the equipment, tested under the same conditions as the SPD (overvoltage and overcurrent waveform and energy, energized equipment, etc). This matter is under consideration.

NOTE 4 Equipment may contain internal SPDs. The characteristics of these internal SPDs may affect the coordination.



Légende

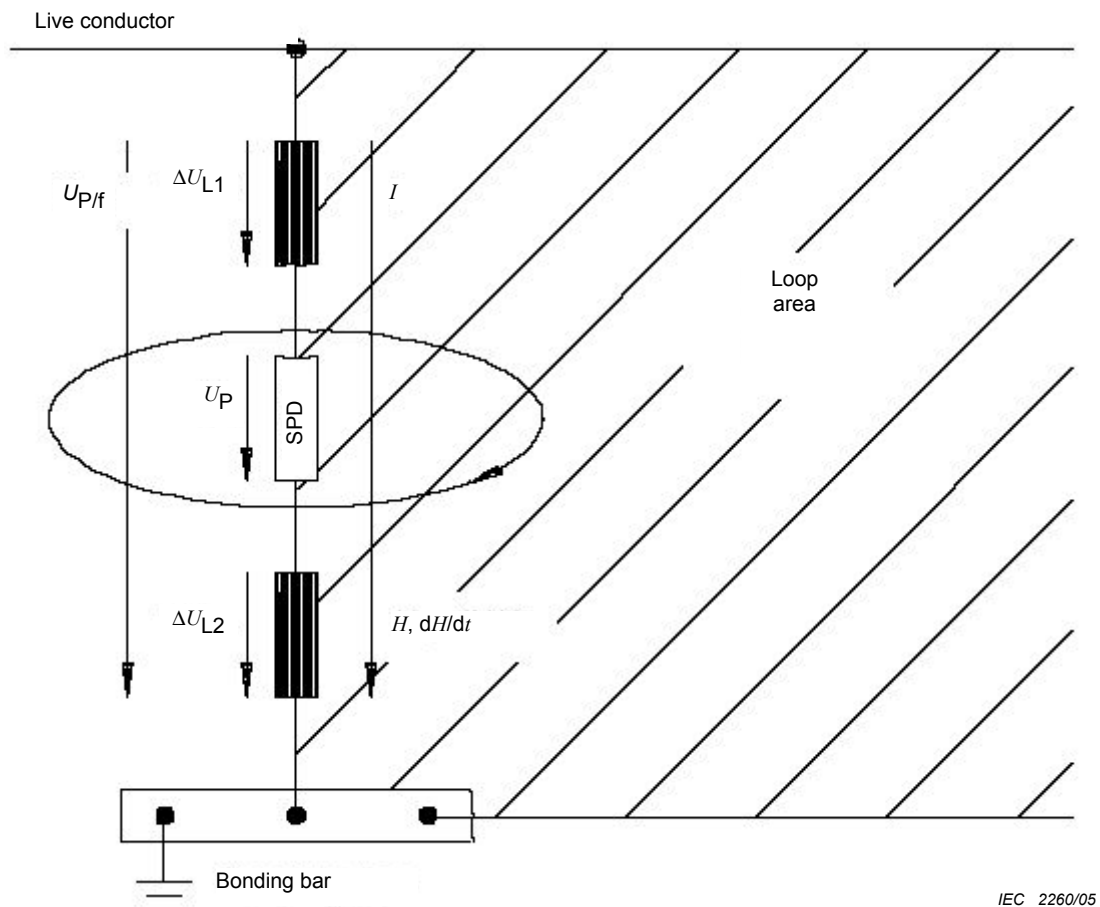
- I courant partiel de foudre
- $U_{P/f} = U_P + \Delta U$ surtension entre le conducteur actif et la borne de terre
- U_P tension de limitation du parafoudre
- $\Delta U = \Delta U_{L1} + \Delta U_{L2}$ chute de tension inductive dans les conducteurs de liaison
- $H, dH/dt$ champ magnétique et sa dérivée dans le temps

La surtension $U_{P/f}$ entre le conducteur actif et la borne de terre est supérieure au niveau de protection U_P du parafoudre car la chute de tension inductive ΔU dans les conducteurs (même si les valeurs maximales de U_P et de ΔU n'apparaissent pas simultanément). De plus, le courant partiel de foudre s'écoulant dans le parafoudre induit une tension complémentaire dans la boucle côté protégé du circuit en aval du parafoudre. Ainsi, la tension maximale mettant en danger les matériels connectés peut être considérablement supérieure au niveau de protection U_P du parafoudre.

Figure D.1 – Surtension entre un conducteur actif et la borne de terre

D.1.2 Choix vis-à-vis de l'emplacement et du courant de décharge

Les parafoudres doivent résister à la décharge de courant présumée à leur emplacement conformément à l'Annexe E de la CEI 62305-1. L'utilisation des parafoudres dépend de leur tenue, classifiée dans la CEI 61643-1 pour la puissance, et dans la CEI 61643-21 pour les réseaux de communication.



IEC 2260/05

Key

I	partial lightning current
$U_{P/f} = U_P + \Delta U$	surge voltage between live conductor and bonding bar
U_P	limiting voltage of SPD
$\Delta U = \Delta U_{L1} + \Delta U_{L2}$	inductive voltage drop on the bonding conductors
$H, dH/dt$	magnetic field and its time derivative

The surge voltage $U_{P/f}$ between the live conductor and the bonding bar is higher than the protection level U_P of the SPD, because of the inductive voltage drop ΔU at the bonding conductors (even if the maximum values of U_P and ΔU do not necessarily appear simultaneously). Namely, the partial lightning current flowing through the SPD induces additional voltage into the loop on the protected side of the circuit following the SPD. Therefore the maximum voltage endangering the connected equipment can be considerably higher than the protection level U_P of the SPD.

Figure D.1 – Surge voltage between live conductor and bonding bar

D.1.2 Selection with regard to location and to discharge current

SPDs shall withstand the discharge current expected at their installation point in accordance with Annex E of IEC 62305-1. The use of SPDs depends on their withstand capability, classified in IEC 61643-1 for power, and in IEC 61643-21 for telecommunication systems.

Les parafoudres doivent être choisis selon les points d'installation comme suit:

- a) A l'entrée du réseau dans la structure (à la frontière de la ZPF 1, par exemple sur le tableau de distribution général MB)
- **Parafoudre testé sous I_{imp} (Classe d'essai I)**
Le courant prescrit I_{imp} du parafoudre doit assurer le passage du courant partiel de foudre prévu au point d'installation en se fondant sur le niveau de protection choisi conformément à l'Article E.1 et/ou l'Article E.2 de la CEI 62305-1.
 - **Parafoudre testé sous I_n (Classe d'essai II)**
Ce type de parafoudre est généralement utilisé quand les services entrants sont entièrement dans la ZPF 0_B ou si la probabilité des défaillances des parafoudres dues aux sources de dommages S1 et S3 peuvent être négligées. Le courant nominal de décharge prescrit I_n du parafoudre doit couvrir les chocs susceptibles d'apparaître dans l'installation conformément à E.2.2 de la CEI 62305-1.
- b) A proximité des matériels à protéger (frontière de la ZPF 2 et supérieure, par exemple sur un tableau secondaire ou sur une prise de courant)
- **Parafoudre testé sous I_n (Classe d'essai II)**
Le courant nominal de décharge prescrit I_n du parafoudre doit assurer la protection selon le niveau choisi au point de l'installation en se fondant sur le niveau de protection et sur l'Article E.3 de la CEI 62305-1.
 - **Parafoudre testé en onde combinée (Classe d'essai III)**
La tension en circuit ouvert prescrite U_{OC} du générateur doit être choisie de manière que le courant de court-circuit correspondant I_{sc} couvre les chocs susceptibles d'apparaître dans l'installation en se fondant sur le niveau de protection et conformément, de nouveau à l'Article E.3 de la CEI 62305-1.

D.2 Mise en œuvre de parafoudres coordonnés

L'efficacité des parafoudres coordonnés dépend non seulement d'un choix approprié, mais essentiellement de leur mise en œuvre. Les principaux aspects à considérer sont:

- l'emplacement des parafoudres;
- les conducteurs de connexion;
- les distances de protection (oscillations);
- les distances de protection (induction).

D.2.1 Emplacement des parafoudres

L'emplacement des parafoudres doit être conforme à D.1.2 et est principalement affecté par:

- une source spécifique de dommages (par exemple, coup de foudre direct sur la structure (S1) ou sur la ligne (S3), sur le sol à proximité de la structure (S2) ou de la ligne (S4));
- l'opportunité d'écouler à la terre les surintensités dues aux chocs de foudre (aussi près que possible du point de pénétration de la ligne dans la structure).

Le premier critère à considérer est: plus le parafoudre est proche du point d'entrée de la ligne, plus est élevé le nombre de matériels protégés par le parafoudre (avantage économique). Il convient de vérifier ensuite le second critère: plus le parafoudre est proche du matériel à protéger, meilleure est la protection (avantage technique).

D.2.2 Conducteurs de connexion

Les conducteurs de connexion des parafoudres doivent présenter des sections minimales définies dans le Tableau 1.

SPDs shall be selected according to their intended installation location, as follows:

a) At the line entrance into the structure (at the boundary of LPZ 1, e.g. at the main distribution board MB):

- **SPD tested with I_{imp} (Class I test)**

The required impulse current I_{imp} of the SPD shall provide for the (partial) lightning current to be expected at this installation point based on the chosen LPL according to Clause E.1 and/or Clause E.2 of IEC 62305-1.

- **SPD tested with I_n (Class II test)**

This type of SPD can be used when the lines entering are entirely within LPZ 0_B or when the probability of failures of the SPDs due to sources of damage S1 and S3 can be disregarded. The required nominal discharge current I_n of the SPD shall provide for the surge level to be expected at the installation point based on the chosen LPL according to E.2.2 of IEC 62305-1.

b) Close to the apparatus to be protected (at boundary of LPZ 2 and higher, e.g. at secondary distribution board SB, or at socket outlet SA).

- **SPD tested with I_n (Class II test)**

The required nominal discharge current I_n of the SPD shall provide for the surge level to be expected at the installation point based on the chosen LPL according to Clause E.3 of IEC 62305-1.

- **SPD tested with a combination wave (Class III test)**

The required open circuit voltage U_{OC} of the combination wave generator shall be selected to ensure that the corresponding short circuit current I_{SC} will provide for the surge level to be expected at the installation point based on the chosen LPL according again to Clause E.3 of IEC 62305-1.

D.2 Installation of a coordinated SPD protection

The efficiency of a coordinated SPD protection depends not only on the proper selection of the SPDs, but also on their correct installation.. Aspects to be considered include:

- location of the SPDs;
- connecting conductors;
- the protection distance due to oscillation phenomena;
- the protection distance due to induction phenomena.

D.2.1 Location of SPD

The location of SPDs should comply with D.1.2 and is mainly affected by:

- the specific source of damage (e.g. lightning flashes to a structure (S1), to a line (S3), to ground nearby a structure (S2) or to ground nearby a line (S4)),
- the nearest opportunity to divert the surge current to ground (as close to the entrance point of a line into the structure as possible).

The first criterion to be considered is: the closer an SPD is to the entrance point of the incoming line, the greater the amount of equipment within the structure which is protected by this SPD (economical advantage). Then the second criterion should be checked: the closer an SPD is to the equipment being protected, the more effective its protection (technical advantage).

D.2.2 Connecting conductors

SPD connecting conductors shall have minimum cross-sections as given in Table 1.

D.2.3 Distance de protection l_{po} due aux oscillations

Lors du fonctionnement du parafoudre, la tension simple est limitée à $U_{p/f}$ à l'emplacement du parafoudre. Si le circuit entre le parafoudre et le matériel est trop long, la propagation des chocs entraîne un phénomène d'oscillations. Dans le cas d'un circuit ouvert aux bornes du matériel, la surtension peut augmenter au niveau des bornes jusqu'à $2 \cdot U_{p/f}$ et entraîner la défaillance du matériel même si $U_{p/f} \leq U_w$ a été choisie.

La distance de protection l_{po} est la longueur maximale du circuit entre le parafoudre et le matériel pour laquelle la protection est encore efficace (en tenant compte des oscillations et de la charge capacitive):

Ces données dépendent de la technologie du parafoudre, des règles d'installation et des capacités de charge.

Si la longueur du circuit est inférieure à 10 m ou si $U_{p/f} < U_w / 2$, la distance de protection l_{po} peut être omise.

NOTE Si la longueur maximale du circuit entre le parafoudre et le matériel est supérieure à 10 m et si $U_{p/f} > U_w / 2$, la distance de protection contre les oscillations peut être estimée par l'équation suivante:

$$l_{po} = [U_w - U_{p/f}] / k \text{ (m)}$$

où $k = 25 \text{ V/m}$.

D.2.4 Distance de protection l_{pi} due aux phénomènes d'induction

Dans le cas de coups de foudre directs sur la structure ou sur le sol à proximité de la structure, dans la boucle constituée par le parafoudre et le matériel, une surtension induite va s'ajouter à U_p et donc réduire l'efficacité du parafoudre. La surtension induite augmente avec les dimensions de la boucle (cheminement, longueur du circuit, distance entre le PE et les conducteurs actifs, surface de boucle entre les lignes électriques et de communication) et diminue avec l'atténuation du champ magnétique (écran spatial et/ou de ligne).

La longueur maximale l_{pi} est la distance maximale entre le parafoudre et le matériel, pour laquelle la protection est assurée pour le matériel (en tenant compte du phénomène d'induction).

La règle générale est de minimiser la boucle entre le parafoudre et le matériel si le champ magnétique dû à la foudre est trop élevé. Autrement, le champ magnétique et les effets d'induction peuvent être réduits par

- un écran spatial du bâtiment (ZPF 1) ou des locaux (ZPF 2 et supérieure),
- un réseau écranté (câbles ou conduits écrantés).

Si ces précautions sont suivies, la distance de protection l_{pi} peut être négligée.

NOTE Dans des conditions sévères (grande boucle de lignes non écrantées et très hautes valeurs du courant de foudre induit), la distance de protection, l_{pi} peut être calculée par l'équation suivante:

$$l_{pi} = [U_w - U_{p/f}] / h \text{ (m)}$$

où

$h = 300 \times K_{S1} \times K_{S2} \times K_{S3}$ (V/m) pour les coups de foudre à proximité de la structure, ou

$h = 30\,000 \times K_{S0} \times K_{S2} \times K_{S3}$ (V/m) pour les coups de foudre sur la structure (cas le plus défavorable).

K_{S1} , K_{S2} , K_{S3} sont des facteurs indiqués dans l'Article B.3 de la CEI 62305-2, c'est-à-dire:

K_{S1} : facteur d'écran dû au SPF ou à d'autres écrans à la frontière des ZPF 0/1,

K_{S2} : facteur d'écran dû aux écrans à la frontière des ZPF 1/2 ou plus élevée,

K_{S3} : caractéristiques du câblage interne.

D.2.3 Oscillation protection distance l_{po}

During the operating state of an SPD, the voltage between the SPD terminals is limited to $U_{p/f}$ at the location of the SPD. If the length of the circuit between the SPD and the equipment is too long, propagation of surges can lead to an oscillation phenomenon. In the case of an open-circuit at the equipment's terminals, this can increase the overvoltage up to $2 \cdot U_{p/f}$ and failure of equipment may result even if $U_{p/f} \leq U_w$.

The oscillation protection distance l_{po} is the maximum length of the circuit between the SPD and the equipment, for which the SPD protection is still adequate (taking into account oscillation phenomena and capacitive load).

This depends on the SPD technology, the installation rules and the load capacity.

If the circuit length is less than 10 m or $U_{p/f} < U_w / 2$, the protection distance l_{po} may be disregarded.

NOTE When the maximum length of the circuit between the SPD and the equipment is greater than 10 m and $U_{p/f} > U_w / 2$, the oscillation protection distance can be estimated using the following equation:

$$l_{po} = [U_w - U_{p/f}] / k \quad (\text{m})$$

where $k = 25 \text{ V/m}$.

D.2.4 Induction protection distance l_{pi}

Lightning flashes to the structure or to ground nearby the structure, can induce an overvoltage in the circuit loop between the SPD and the equipment, which adds to U_p and thereby reduces the protection efficiency of the SPD. Induced overvoltages increase with dimensions of the loop (line routing, length of circuit, distance between PE and active conductors, loop area between power and signal lines) and decrease with attenuation of the magnetic field strength (spatial shielding and/or line shielding).

The induction protection distance l_{pi} is the maximum length of the circuit between the SPD and the equipment, for which the protection of the SPD is still adequate (taking into account the induction phenomena).

In general, one should seek to minimize the loop between the SPDs and the equipment when the magnetic field generated by lightning is considered too high. Otherwise, the magnetic field and the induction effects can be reduced by

- spatial shielding of the building (LPZ 1) or of the rooms (LPZ 2 and higher),
- line shielding (use of shielded cables or cable ducts).

When these precautions are followed, the induction protection distance l_{pi} can be disregarded.

NOTE In the very heavy conditions (large loop of unshielded lines and very high values of inducing lightning current) the induction protection distance l_{pi} can be estimated using the following equation:

$$l_{pi} = [U_w - U_{p/f}] / h \quad (\text{m})$$

where

$h = 300 \times K_{S1} \times K_{S2} \times K_{S3}$ (V/m) for flashes near the structure, or

$h = 30\,000 \times K_{S0} \times K_{S2} \times K_{S3}$ (V/m) for flashes to the structure (worst case).

K_{S1} , K_{S2} , K_{S3} are the factors reported in Clause B.3 of IEC 62305-2, namely:

- K_{S1} : spatial shielding due to LPS or other shields at boundary LPZ 0/1,
- K_{S2} : spatial shielding due to shields at boundary LPZ 1/2 or higher,
- K_{S3} : characteristics of internal wiring.

K_{S0} est un facteur prenant en compte l'efficacité d'écran dû au SPF à la frontière des ZPF 0/1 et est donné par:

$K_{S0} = 0,06 \times w^{0,5}$ pour un SPF en grille avec une taille de maille w (m) ou

$K_{S0} = K_c$ pour un SPF non en grille (voir l'Annexe C de la CEI 62305-3).

D.2.5 Coordination des parafoudres

Dans une protection par parafoudres coordonnée, les parafoudres en cascade doivent être coordonnés en énergie conformément à la CEI 61643-12 ou à la CEI 61643-22. Le constructeur de parafoudres doit donner suffisamment d'informations afin de réaliser cette coordination énergétique des parafoudres.

Des informations complémentaires sur la coordination des parafoudres sont données à l'Annexe C.

D.2.6 Méthode d'installation d'une protection par parafoudres coordonnée

Il convient d'adopter la méthode d'installation suivante:

- 1) A l'entrée du réseau dans la structure (à la frontière de la ZPF 1, par exemple en MB), installer un parafoudre 1 (D.1.2).
- 2) Déterminer la tenue aux chocs U_w des réseaux internes à protéger.
- 3) Choisir un niveau de protection U_{p1} du parafoudre 1 pour assurer la protection $U_{p/f1} \leq U_w$.
- 4) Vérifier les exigences pour les distances de protection $l_{p0/1}$ et $l_{pi/1}$ (D.2.3 et D.2.4).

Si les conditions 3) et 4) sont satisfaites, le matériel est protégé par le parafoudre 1.

Dans les autres cas, un(des) parafoudre(s) 2 complémentaire(s) est(sont) nécessaire(s).

- 5) A proximité du matériel (frontière de la ZPF 2, par exemple en SA ou SB), installer le parafoudre 2 (D.1.2) coordonné en énergie avec le parafoudre 1 en amont (D.2.5).
- 6) Choisir un niveau de protection U_{p2} du parafoudre 2 pour assurer la protection $U_{p/f2} \leq U_w$.
- 7) Vérifier les exigences pour les distances de protection $l_{p0/2}$ et $l_{pi/2}$ (D.2.3 et D.2.4).

Si les conditions 6) et 7) sont satisfaites, le matériel est protégé par les parafoudres coordonnés 1 et 2.

Dans les autres cas, un (des) parafoudre(s) 3 complémentaire(s) est (sont) nécessaire(s) à proximité du matériel (par exemple en SA) coordonné en énergie avec le parafoudre 1 et le parafoudre 2 en amont (D.2.5).

K_{S0} is a factor which takes into account the shielding effectiveness due to the LPS at boundary LPZ 0/1 and is given by:

$K_{S0} = 0,06 \times w^{0,5}$ for grid-like LPS with mesh width w (m), or

$K_{S0} = K_c$ for no grid-like LPS (see Annex C of IEC 62305-3).

D.2.5 Coordination of SPDs

In a coordinated SPD protection, cascaded SPDs shall be energy coordinated in accordance with IEC 61643-12 or IEC 61643-22. The SPD manufacturer shall provide sufficient information as to how to achieve energy coordination between their SPDs.

Information on SPD coordination is provided in Annex C.

D.2.6 Procedure for installation of a coordinated SPD protection

A coordinated SPD protection should be installed as follows:

- 1) At the line entrance into the structure (at the boundary of LPZ 1, e.g. at installation point MB) install SPD 1 (D.1.2).
- 2) Determine the impulse withstand voltage U_w of internal systems to be protected.
- 3) Select the voltage protection level U_{p1} of SPD 1 to ensure that the effective protection level $U_{p/f1} \leq U_w$.
- 4) Check the requirements for the protection distances $l_{po/1}$ and $l_{pi/1}$ (D.2.3 and D.2.4)

If conditions 3) and 4) are fulfilled the equipment is protected by SPD 1.

Otherwise, an additional SPD 2(s) is needed.

- 5) Closer to the equipment (at the boundary of LPZ 2, e.g. at the installation point SB or SA), install SPD2 (D.1.2), and energy coordinated with the upstream SPD1 (D.2.5).
- 6) Select protection level U_{p2} of SPD 2 so to ensure that the effective protective level $U_{p/f2} \leq U_w$.
- 7) Check the requirements for the protection distances $l_{po/2}$ and $l_{pi/2}$ (D.2.3 and D.2.4).

If conditions 6) and 7) are fulfilled, the equipment is protected by coordinated SPD 1 and SPD 2.

Otherwise an additional SPD 3(s) is needed close to the equipment (e.g. at installation point SA), and energy coordinated with the upstream SPD1 and SPD2 (D.2.5).

Bibliographie

- [1] CEI 61000-1-1:1992, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 1: Généralités – Section 1: Application et interprétation de définitions et termes fondamentaux*
- [2] CEI 61000-5-6:2002, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 5-6: Guides d'installation et d'atténuation – Atténuation des influences externes EM*

Bibliography

- [1] IEC 61000-1-1:1992, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 1: General – Section 1: Application and interpretation of fundamental definitions and terms*
 - [2] IEC 61000-5-6:2002, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 5-6: Installation and mitigation guidelines – Mitigation of external EM influences*
-



Standards Survey

The IEC would like to offer you the best quality standards possible. To make sure that we continue to meet your needs, your feedback is essential. Would you please take a minute to answer the questions overleaf and fax them to us at +41 22 919 03 00 or mail them to the address below. Thank you!

Customer Service Centre (CSC)

International Electrotechnical Commission

3, rue de Varembé

1211 Genève 20

Switzerland

or

Fax to: **IEC/CSC** at +41 22 919 03 00

Thank you for your contribution to the standards-making process.

A Prioritaire

Nicht frankieren
Ne pas affranchir



Non affrancare
No stamp required

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Customer Service Centre (CSC)

International Electrotechnical Commission

3, rue de Varembé

1211 GENEVA 20

Switzerland



Q1 Please report on **ONE STANDARD** and **ONE STANDARD ONLY**. Enter the exact number of the standard: (e.g. 60601-1-1)

.....

Q2 Please tell us in what capacity(ies) you bought the standard (tick all that apply). I am the/a:

- purchasing agent
- librarian
- researcher
- design engineer
- safety engineer
- testing engineer
- marketing specialist
- other.....

Q3 I work for/in/as a: (tick all that apply)

- manufacturing
- consultant
- government
- test/certification facility
- public utility
- education
- military
- other.....

Q4 This standard will be used for: (tick all that apply)

- general reference
- product research
- product design/development
- specifications
- tenders
- quality assessment
- certification
- technical documentation
- thesis
- manufacturing
- other.....

Q5 This standard meets my needs: (tick one)

- not at all
- nearly
- fairly well
- exactly

Q6 If you ticked NOT AT ALL in Question 5 the reason is: (tick all that apply)

- standard is out of date
- standard is incomplete
- standard is too academic
- standard is too superficial
- title is misleading
- I made the wrong choice
- other

Q7 Please assess the standard in the following categories, using the numbers:

- (1) unacceptable,
- (2) below average,
- (3) average,
- (4) above average,
- (5) exceptional,
- (6) not applicable

- timeliness.....
- quality of writing.....
- technical contents.....
- logic of arrangement of contents
- tables, charts, graphs, figures.....
- other

Q8 I read/use the: (tick one)

- French text only
- English text only
- both English and French texts

Q9 Please share any comment on any aspect of the IEC that you would like us to know:

.....





Enquête sur les normes

La CEI ambitionne de vous offrir les meilleures normes possibles. Pour nous assurer que nous continuons à répondre à votre attente, nous avons besoin de quelques renseignements de votre part. Nous vous demandons simplement de consacrer un instant pour répondre au questionnaire ci-après et de nous le retourner par fax au +41 22 919 03 00 ou par courrier à l'adresse ci-dessous. Merci !

Centre du Service Clientèle (CSC)

Commission Electrotechnique Internationale

3, rue de Varembé

1211 Genève 20

Suisse

ou

Télécopie: **CEI/CSC** +41 22 919 03 00

Nous vous remercions de la contribution que vous voudrez bien apporter ainsi à la Normalisation Internationale.

A Prioritaire

Nicht frankieren
Ne pas affranchir



Non affrancare
No stamp required

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Centre du Service Clientèle (CSC)

Commission Electrotechnique Internationale

3, rue de Varembé

1211 GENÈVE 20

Suisse



Q1 Veuillez ne mentionner qu'**UNE SEULE NORME** et indiquer son numéro exact:
(ex. 60601-1-1)
.....

Q2 En tant qu'acheteur de cette norme, quelle est votre fonction?
(cochez tout ce qui convient)
Je suis le/un:

- agent d'un service d'achat
- bibliothécaire
- chercheur
- ingénieur concepteur
- ingénieur sécurité
- ingénieur d'essais
- spécialiste en marketing
- autre(s).....

Q3 Je travaille:
(cochez tout ce qui convient)

- dans l'industrie
- comme consultant
- pour un gouvernement
- pour un organisme d'essais/ certification
- dans un service public
- dans l'enseignement
- comme militaire
- autre(s).....

Q4 Cette norme sera utilisée pour/comme
(cochez tout ce qui convient)

- ouvrage de référence
- une recherche de produit
- une étude/développement de produit
- des spécifications
- des soumissions
- une évaluation de la qualité
- une certification
- une documentation technique
- une thèse
- la fabrication
- autre(s).....

Q5 Cette norme répond-elle à vos besoins:
(une seule réponse)

- pas du tout
- à peu près
- assez bien
- parfaitement

Q6 Si vous avez répondu PAS DU TOUT à Q5, c'est pour la/les raison(s) suivantes:
(cochez tout ce qui convient)

- la norme a besoin d'être révisée
- la norme est incomplète
- la norme est trop théorique
- la norme est trop superficielle
- le titre est équivoque
- je n'ai pas fait le bon choix
- autre(s)

Q7 Veuillez évaluer chacun des critères ci-dessous en utilisant les chiffres
(1) inacceptable,
(2) au-dessous de la moyenne,
(3) moyen,
(4) au-dessus de la moyenne,
(5) exceptionnel,
(6) sans objet

- publication en temps opportun
- qualité de la rédaction.....
- contenu technique
- disposition logique du contenu
- tableaux, diagrammes, graphiques, figures
- autre(s)

Q8 Je lis/utilise: (une seule réponse)

- uniquement le texte français
- uniquement le texte anglais
- les textes anglais et français

Q9 Veuillez nous faire part de vos observations éventuelles sur la CEI:

.....



ISBN 2-8318-8367-9



9 782831 883670

ICS 29.020; 91.120.40

Typeset and printed by the IEC Central Office
GENEVA, SWITZERLAND

Licensed to //GAMESA EOLICA
ANSI Store order #X244831 Downloaded: 3/16/2006 8:18:02 AM ET
Single user license only. Copying and networking prohibited.