

SPÉCIFICATION TECHNIQUE

TECHNICAL SPECIFICATION

**CEI
IEC**

TS 61312-3

Première édition
First edition
2000-07

**Protection contre l'impulsion électromagnétique
générée par la foudre –**

**Partie 3:
Prescriptions relatives aux parafoudres**

**Protection against lightning electromagnetic
impulse –**

**Part 3:
Requirements of surge protective devices (SPDs)**



Numéro de référence
Reference number
IEC/TS 61312-3:2000

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications 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.

Validité de la présente publication

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 la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement
(Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (IEV).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. 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.

Validity of this publication

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 the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

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 to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates
(On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

SPÉCIFICATION TECHNIQUE

TECHNICAL SPECIFICATION

**CEI
IEC**

TS 61312-3

Première édition
First edition
2000-07

Protection contre l'impulsion électromagnétique générée par la foudre –

Partie 3: Prescriptions relatives aux parafoudres

Protection against lightning electromagnetic impulse –

Part 3: Requirements of surge protective devices (SPDs)

© IEC 2000 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
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

XA

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	8
INTRODUCTION	12
Articles	
1 Domaine d'application	14
2 Références normatives	14
3 Définitions, abréviations et symboles	16
4 Menaces importantes – Paramètres du courant de foudre	22
5 Disposition des parafoudres en fonction du concept de zone de protection contre la foudre	24
5.1 Zones de protection contre la foudre	24
5.2 Définitions des zones	24
5.3 Disposition des parafoudres aux frontières entre zones	24
6 Prescriptions de fonctionnement des parafoudres	26
6.1 Transition de ZPF 0 _A à ZPF 1	26
6.2 Transition de ZPF 0 _B à ZPF 1	28
6.3 Transition de ZPF 1 à ZPF 2	30
7 Coordination de l'énergie	30
7.1 Objectif général de la coordination	30
7.2 Principes essentiels de coordination	32
7.2.1 Généralités	32
7.2.2 Coordination de parafoudres de type limitation en tension	32
7.2.3 Coordination entre un parafoudre à coupure de tension et un parafoudre à limitation en tension	34
7.2.4 Coordination entre parafoudres à coupure de tension	36
7.3 Variantes de coordination de base pour les systèmes de protection	38
7.4 Méthode de coordination selon l'«énergie passante» (EP)	40
7.5 Coordination entre un parafoudre et l'équipement à protéger	40
7.5.1 Choix du parafoudre	40
7.5.2 Emplacement du parafoudre	42
8 Synthèse	42
Annexe A (informative) Exemples de coordination entre deux parafoudres	60
A.1 Exemple de coordination de deux parafoudres à limitation en tension	60
A.2 Exemple de coordination entre deux parafoudres dont l'un est du type coupure en tension et l'autre du type à limitation en tension	62

CONTENTS

	Page
FOREWORD	9
INTRODUCTION	13
Clause	
1 Scope	15
2 Normative references	15
3 Definitions, abbreviations and symbols	17
4 Relevant threats – Lightning current parameters	23
5 Arrangement of SPDs within the Lightning Protection Zones concept	25
5.1 Lightning protection zones	25
5.2 Zone definitions	25
5.3 Arrangement of SPDs at the zone interfaces	25
6 SPD performance requirements	27
6.1 Transition from LPZ 0 _A to LPZ 1	27
6.2 Transition from LPZ 0 _B and LPZ 1	29
6.3 Transition from LPZ 1 to LPZ 2	31
7 Energy coordination	31
7.1 General objective of coordination	31
7.2 Fundamental coordination principles	33
7.2.1 General	33
7.2.2 Coordination of voltage limiting type SPDs	33
7.2.3 Coordination between voltage switching type and voltage limiting type SPDs	35
7.2.4 Coordination between voltage switching type SPDs	37
7.3 Basic coordination variants for protection systems	39
7.4 Coordination method according to "let-through energy" (LTE)	41
7.5 Coordination between an SPD and the equipment to be protected	41
7.5.1 Selection of the SPD	41
7.5.2 Place of installation	43
8 Summary	43
Annex A (informative) Examples for coordination between two SPDs	61
A.1 Example of coordination between voltage limiting type SPDs	61
A.2 Example of coordination between voltage switching type SPD and voltage limiting type SPD	63

Annexe B (informative) Facteurs d'influence de la distribution du courant de foudre dans un système à protéger	74
B.1 Influence de la distribution du courant de foudre dans le réseau basse tension	74
B.1.1 Influence des câbles d'alimentation	74
B.1.2 Influence du transformateur	76
B.1.3 Influence du réseau de terre	76
B.1.4 Influence d'utilisateurs en parallèle	76
B.1.5 Méthode de calcul simplifiée	76
B.1.6 Calculs simplifiés des parafoudres	98
Annexe C (informative) Emplacement des parafoudres	100
C.1 Emplacement des parafoudres	100
Bibliographie	110
Figure 1a – Exemple de division d'une structure en plusieurs ZPF et en équipotentialités appropriées	44
Figure 1b – Exemple de conception de ZPF avec un parafoudre unique et un câble à double écran	44
Figure 2 – Exemple de division de structures en plusieurs ZPF avec les équipotentialités appropriées	46
Figure 3 – Modèle de base de coordination en énergie de parafoudres dans des structures avec faible impédance de la LEP (voir 8.1)	46
Figure 4a – Association de base de deux parafoudres (du type à limitation de tension)	48
Figure 4b – Principe de base pour la coordination en énergie de deux parafoudres du type à limitation de tension	48
Figure 5a – Association de deux parafoudres à coupure et à limitation de tension	50
Figure 5b – Principe de base pour la coordination en énergie de deux parafoudres de type à coupure et à limitation en tension	50
Figure 6a – Principe pour la détermination de l'inductance de découplage pour une coordination énergétique 10/350 µs et 0,1 kA/µs	52
Figure 6b – Principe pour la détermination de l'inductance de découplage pour une coordination énergétique 10/350 µs et 0,1 kA/µs	54
Figure 7 – Principe de coordination selon la variante I (SPD à limitation en tension)	56
Figure 8 – Principe de coordination selon la variante II (SPD à limitation en tension)	56
Figure 9 – Principe de coordination selon la variante III (SPD à coupure de tension/SPD à limitation en tension)	56
Figure 10 – Principe de coordination selon la variante IV	58
Figure 11 – Energie passante – Méthode de coordination avec les paramètres de choc normalisés	58
Figure A.1 – Circuit pour la coordination de deux parafoudres de type à limitation en tension	60
Figure A.2 – Caractéristiques courant/tension de deux parafoudres (type à limitation en tension)	60
Figure A.3 – Caractéristiques courant/tension de deux parafoudres à limitation en tension ..	62
Figure A.4 – Circuit pour la coordination d'un parafoudre SPD 1 du type coupure en tension et d'un parafoudre SPD 2 du type limitation en tension	62

Annex B (informative) Influencing factors on the lightning current distribution in a system to be protected	75
B.1 Influencing the lightning current distribution in the low-voltage system	75
B.1.1 Influence of supplying cables	75
B.1.2 Influence of the transformer	77
B.1.3 Influence of the earthing system	77
B.1.4 Influence of parallel consumers	77
B.1.5 Simplified calculation method	77
B.1.6 Simplified calculation for SPD requirements	99
Annex C (informative) Place of installation of SPD	101
C.1 Place of installation	101
Bibliography	111
Figure 1a – Example for dividing a structure into several LPZs and adequate bonding	45
Figure 1b – Example of the design of LPZs with a single SPD and a double-shielded cable	45
Figure 2 – Example for dividing a structure into several LPZs, with the appropriate bonding	47
Figure 3 – Basic model for energy coordination of SPDs in structures with a negligible low impedance of the CBN (see 8.1)	47
Figure 4a – Basic combination of two SPDs (voltage limiting type)	49
Figure 4b – Basic principle for energy coordination of two SPDs (voltage limiting type)	49
Figure 5a – Basic combination of two SPDs: voltage switching type (SPD 1) and voltage limiting type (SPD 2)	51
Figure 5b – Basic principle for energy coordination of two SPDs: voltage switching type and voltage limiting type	51
Figure 6a – Principle determination of decoupling inductance for energy coordination 10/350 μ s and 0,1 kA/ μ s	53
Figure 6b – Principle for the determination of decoupling inductance for energy coordination 10/350 μ s and 0,1 kA/ μ s	55
Figure 7 – Coordination principle according to variant I (voltage limiting type SPDs)	57
Figure 8 – Coordination principle according to variant II (voltage limiting type SPDs)	57
Figure 9 – Coordination principle according to variant III (voltage switching/voltage limiting type SPDs)	57
Figure 10 – Coordination principle according to variant IV	59
Figure 11 – LTE – Coordination method with standard pulse parameters	59
Figure A.1 – Circuit diagram for coordination between two voltage limiting type SPDs	61
Figure A.2 – Current /voltage characteristics of two SPDs (voltage limiting type)	61
Figure A.3 – Current and voltage characteristics at a combination of two voltage limiting type SPDs	63
Figure A.4 – Circuit diagram for coordination between voltage switching type SPD 1 and voltage limiting type SPD 2	63

Figure A.5 – Caractéristiques de courant et tension d'une association d'un parafoudre coupe en tension et d'un parafoudre à limitation en tension – Pas d'amorçage de l'éclateur SPD 1.....	64
Figure A.6 – Caractéristiques de courant et tension d'une association d'un parafoudre coupe en tension et d'un parafoudre à limitation en tension – Amorçage de l'éclateur SPD 1.....	64
Figure A.7a – Circuit pour la coordination.....	66
Figure A.7b – Caractéristiques courant/tension/énergie pour $L_{DE} = 8 \mu H$: Pas de coordination d'énergie – 10/350 μs	66
Figure A.7c – Caractéristiques courant/tension/énergie pour $L_{DE} = 10 \mu H$: Coordination d'énergie – 10/350 μs	68
Figure A.7 – Exemple de coordination d'énergie entre le parafoudre SPD 1 du type coupe de tension et du parafoudre SPD 2 du type à limitation en tension pour 10/350 μs	68
Figure A.8a – Circuit pour la coordination.....	70
Figure A.8b – Caractéristiques courant/tension/énergie pour $L_{DE} = 10 \mu H$: Pas de coordination d'énergie – 0,1 kA/ μs	70
Figure A.8c – Caractéristiques courant/tension/énergie pour $L_{DE} = 12 \mu H$: Coordination d'énergie – 0,1 kA/ μs	72
Figure A.8 – Exemple de coordination d'énergie entre le parafoudre SPD 1 du type coupe de tension et du parafoudre SPD 2 du type à limitation en tension pour 0,1 kA/ μs	72
Figure B.1 – Modèle de base pour la distribution du courant de foudre.....	78
Figure B.2 – Schéma du circuit du modèle de base pour la distribution du courant de foudre.....	80
Figure B.3 – Distribution du courant de foudre dans le réseau en fonction de la longueur du câble d'alimentation (voir figure B.2).....	82
Figure B.4 – Distribution du courant de foudre pour une longueur du câble d'alimentation de 500 m (voir figure B.2).....	84
Figure B.5 – Distribution du courant de foudre pour une longueur du câble d'alimentation de 50 m (voir figure B.2).....	86
Figure B.6 – Distribution du courant de foudre pour diverses impédances du transformateur. Longueur du câble: 100 m (voir figure B.2).....	88
Figure B.7 – Modèle pour la distribution du courant de foudre en cas d'utilisateurs en parallèle.....	90
Figure B.8 – Distribution du courant dans le cas d'un seul bâtiment en parallèle (voir figure B.7).....	92
Figure B.9 – Calcul simplifié des courants partiels dans le réseau de distribution.....	94
Figure B.10 – Modèle pour la distribution du courant de foudre (voir aussi la figure B.11)....	96
Figure B.11 – Circuit équivalent simplifié (voir aussi figure B.10).....	98
Figure C.1 – Circuit d'essai pour simuler le parafoudre et diverses charges connectés par des câbles de différentes longueurs.....	102
Figure C.2 – Tensions sur le parafoudre et sur la charge (longueur du câble de connexion 1 m; voir figure C.1).....	104
Figure C.3 – Tensions sur le parafoudre et sur la charge (longueur du câble de connexion 10 m; voir figure C.1).....	106
Figure C.4 – Tensions sur le parafoudre et sur la charge (longueur du câble de connexion 100 m; voir figure C.1).....	108
Tableau 1 – Paramètres du courant de foudre du premier impact.....	28

Figure A.5 – Current and voltage characteristics at a combination of a SPD voltage switching type and a SPD voltage limiting type: SPD 1 not ignited	65
Figure A.6 – Current and voltage characteristics at a combination of a SPD voltage switching type and a SPD voltage limiting type: SPD 1 ignited.....	65
Figure A.7a – Circuit diagram	67
Figure A.7b – Current/voltage/energy characteristics for $L_{DE} = 8 \mu\text{H}$: No energy coordination – 10/350 μs	67
Figure A.7c – Current/voltage/energy characteristics for $L_{DE} = 10 \mu\text{H}$: Energy coordination – 10/350 μs	69
Figure A.7 – Example of energy coordination between voltage switching type SPD 1 and voltage limiting type SPD 2 for 10/350 μs	69
Figure A.8a – Circuit diagram	71
Figure A.8b – Current/voltage/energy characteristics for $L_{DE} = 10 \mu\text{H}$: No energy coordination – 0,1 kA/ μs	71
Figure A.8c – Current/voltage/energy characteristics for $L_{DE} = 12 \mu\text{H}$: Energy coordination – 0,1 kA/ μs	73
Figure A.8 – Example of energy coordination between voltage switching type SPD 1 and voltage limiting type SPD 2 for 0,1 kA/ μs	73
Figure B.1 – Basic model for the lightning current distribution	79
Figure B.2 – Circuit diagram of the basic model for the lightning current distribution	81
Figure B.3 – Lightning current distribution through the system dependent on the length of the cable (see figure B.2)	83
Figure B.4 – Current distribution at cable length of 500 m (see figure B.2)	85
Figure B.5 – Current distribution at cable length of 50 m (see figure B.2)	87
Figure B.6 – Current distribution at different earthing impedances (transformer) Cable length: 100 m (see figure B.2)	89
Figure B.7 – Model for lightning current distribution in the case of parallel consumers.....	91
Figure B.8 – Current distribution in the case of one parallel building (see figure B.7).....	93
Figure B.9 – Simplified calculation of partial lightning current into the power distribution system	95
Figure B.10 – Model for the lightning current distribution (see also figure B.11).....	97
Figure B.11 – Simplified equivalent circuit (see also figure B.10).....	99
Figure C.1 – Test circuit for simulation SPD and different loads connected by cables with different lengths	103
Figure C.2 – Voltage at SPD and load (1 m length of cable; see figure C.1)	105
Figure C.3 – Voltage at SPD and load (10 m length of cable; see figure C.1)	107
Figure C.4 – Voltage at SPD and load (100 m length of cable; see figure C.1).....	109
Table 1 – Lightning current parameters of the first stroke	29

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PROTECTION CONTRE L'IMPULSION ÉLECTROMAGNÉTIQUE GÉNÉRÉE PAR LA FOUDRE –

Partie 3: Prescriptions relatives aux parafoudres

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Électrotechnique Internationale) 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. 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 intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente spécification technique peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La tâche principale des comités d'études de la CEI est l'élaboration des Normes internationales. Exceptionnellement, un comité d'études peut proposer la publication d'une spécification technique

- lorsqu'en dépit de maints efforts, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une Norme internationale, ou
- lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique ou quand, pour une raison quelconque, la possibilité d'un accord pour la publication d'une Norme internationale peut être envisagée pour l'avenir mais pas dans l'immédiat.

Les spécifications techniques font l'objet d'un nouvel examen trois ans au plus tard après leur publication afin de décider éventuellement de leur transformation en Normes internationales.

La CEI 61312-3, qui est une spécification technique, a été établie par le comité d'études 81 de la CEI: Protection contre la foudre, partiellement en coopération avec le sous-comité 37A: Dispositifs de protection basse tension contre les surtensions, le comité d'études 64: Installations électriques et protection contre les chocs électriques, et sous-comité 77B: Phénomènes haute fréquence.¹⁾

¹⁾ Spécialement en ce qui concerne la coordination des parafoudres, une activité commune a fait l'objet d'un accord entre WG3 et JWG 31 du CE 64 (avec des membres du SC 28A, SC 37A, CE 64, SC 77B et CE 81). Des renseignements similaires sont présentés dans la CEI 61643-12 et la CEI 62066 (toutes deux à publier).

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

PROTECTION AGAINST LIGHTNING ELECTROMAGNETIC IMPULSE –

Part 3: Requirements of surge protective devices (SPDs)

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the 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, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 the 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 National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this technical specification may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. In exceptional circumstances, a technical committee may propose the publication of a technical specification when

- the required support cannot be obtained for the publication of an International Standard, despite repeated efforts, or
- the subject is still under technical development or where, for any other reason, there is the future but no immediate possibility of an agreement on an International Standard.

Technical specifications are subject to review within three years of publication to decide whether they can be transformed into International Standards.

IEC 61312-3, which is a technical specification, has been prepared by IEC technical committee 81: Lightning protection, partly in cooperation with subcommittee 37A: Low-voltage surge protective devices, technical committee 64: Electrical installations and protection against electric shock, and subcommittee 77B: High-frequency phenomena.¹⁾

¹⁾ Especially for the problem of SPD coordination, joint activity has been agreed with WG 3 of SC 37A and JWG 31 of TC 64 (with members from SC 28A, SC 37A, TC 64, SC 77B and TC 81). Similar information is presented in IEC 61643-12 and IEC 62066 (both to be published).

Le texte de cette spécification technique est issu des documents suivants:

Projet d'enquête	Rapport de vote
81/120/CDV	81/141/RVC

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 3.

La CEI 61312 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général: Protection contre l'impulsion électromagnétique générée par la foudre (IEMF):

- Partie 1: Principes généraux
- Partie 2: Blindage des structures, équipotentialité dans les structures et mise à la terre
- Partie 3: Prescriptions relatives aux parafoudres
- Partie 4: Protection des équipements dans les structures existantes

Les annexes A, B et C sont données uniquement à titre d'information.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2005. A cette date, la publication sera

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

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

Enquiry draft	Report on voting
81/120/CDV	81/141/RVC

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 3.

IEC 61312 consists of the following parts, under the general title: Protection against lightning electromagnetic impulse:

- Part 1: General principles
- Part 2: Shielding of structures, bonding inside structures and earthing
- Part 3: Requirements of surge protective devices (SPDs)
- Part 4: Protection of equipment in existing structures

Annexes A, B and C are for information only.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2005. At this date, the publication will be

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

INTRODUCTION

Le concept de zones de protection contre la foudre (ZPF), conformément à la CEI 61312-1, nécessite l'installation de parafoudres, si une ligne électrique traverse la frontière entre deux zones. Ces parafoudres doivent être bien coordonnés pour obtenir un partage acceptable des contraintes entre les parafoudres, conformément à leur immunité contre les dommages, et pour réduire efficacement la menace primaire de la foudre contre les dommages de l'équipement à protéger. La présente spécification technique donne des méthodes et des règles pour assurer la coordination de l'énergie.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TS 61312-3:2000

Withdrawing

INTRODUCTION

The Lightning Protection Zones (LPZ) concept according to IEC 61312-1 requires the installation of SPDs, whenever an electrical line crosses the boundary between two zones. These SPDs shall be well coordinated to get an acceptable sharing of stress among the SPDs according to their immunities against damage and to effectively reduce the primary lightning threat to the immunities against damage of the equipment to be protected. This technical specification provides methods and rules to ensure the energy coordination.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TS 61312-3:2000

Withdrawing

PROTECTION CONTRE L'IMPULSION ÉLECTROMAGNÉTIQUE GÉNÉRÉE PAR LA FOUDRE –

Partie 3: Prescriptions relatives aux parafoudres

1 Domaine d'application

La présente spécification technique traite des prescriptions relatives aux parafoudres normalisés dans la CEI 61643-1. Ces parafoudres sont mis en oeuvre conformément au concept des zones de protection contre la foudre donné dans la CEI 61312-1.

D'abord, en se fondant sur les menaces primaires, la présente spécification technique donne des règles pour la détermination des contraintes sur chacun des parafoudres.

Pour les parafoudres mis en oeuvre dans des réseaux complexes, il est admis de diviser le réseau en éléments simples, en tenant compte des règles de la présente spécification. La connaissance des valeurs et des directions des courants de foudre partiels s'écoulant dans le réseau permet le choix des parafoudres appropriés.

La présente spécification technique traite ensuite de problèmes fondamentaux sur la coordination d'énergie des parafoudres, d'une part entre eux et d'autre part entre un parafoudre et l'équipement à protéger. Les caractéristiques spécifiques de chacun des parafoudres et la menace à l'emplacement de son installation sont prises en compte pour une coordination efficace. La preuve de cette coordination dans un réseau est brièvement décrite dans cette spécification.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 61312. Pour les références datées, les amendements ultérieurs ou les révisions de ces publications ne s'appliquent pas. Toutefois, les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 61312 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Pour les références non datées, la dernière édition du document normatif en référence s'applique. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

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

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

CEI 61024-1, *Protection des structures contre la foudre – Première partie: Principes généraux*

CEI 61312-1, *Protection contre l'impulsion électromagnétique générée par la foudre – Partie 1: Principes généraux*

CEI 61312-2, *Protection contre l'impulsion électromagnétique générée par la foudre (IEMF) – Partie 2: Blindage des structures, équipotentialité dans les structures et mise à la terre*

PROTECTION AGAINST LIGHTNING ELECTROMAGNETIC IMPULSE –

Part 3: Requirements of surge protective devices (SPDs)

1 Scope

This technical specification deals with the requirements of Surge Protective Devices (SPDs) standardized by IEC 61643-1. These SPDs are installed according to the Lightning Protection Zones concept given by IEC 61312-1.

First, starting from primary relevant threats, this technical specification gives instructions for the determination of the stress for individual SPDs.

For SPDs installed within a complex system, it is admissible to divide the system into simple basic arrangements, observing the rules described in this technical specification. When the values and directions of the partial lightning currents flowing within the system are known, the appropriate SPDs can be selected.

This technical specification also deals with basic questions of the energy coordination of SPDs among each other and between SPDs and the equipment to be protected. The specific characteristics of the individual SPDs and the threat at the respective place of installation are to be considered for effective coordination. The proof of the coordination of SPDs installed in a system, is described briefly in this specification.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 61312. For dated references, subsequent amendments to, or revisions of, any of these publications do not apply. However, parties to agreements based on this part of IEC 61312 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. For undated references, the latest edition of the normative document referred to applies. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

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

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

IEC 61024-1, *Protection of structures against lightning – Part 1: General principles*

IEC 61312-1, *Protection against lightning electromagnetic impulse – Part 1: General principles*

IEC 61312-2, *Protection against lightning electromagnetic impulse – Part 2: Shielding of structures, bonding inside structures and earthing*

CEI 61312-4, *Protection contre l'impulsion électromagnétique générée par la foudre – Partie 4: Protection des équipements dans les structures existantes*

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

UIT-T série K, *Protection contre les perturbations*

UIT-T K.20, *Immunité des équipements de commutation de télécommunications aux surtensions*

UIT-T K.21, *Immunité des terminaux d'abonné aux surtensions et aux surintensités*

3 Définitions, abréviations et symboles

Pour les besoins de la présente spécification technique, les termes et définitions suivants s'appliquent, ainsi que ceux déjà définis dans la CEI 61312-1, la CEI 61024-1 et la CEI 61643-1.

3.1

parafoudre

dispositif destiné à limiter les surtensions transitoires et à écouler les courants de foudre. Il inclut au moins un composant non linéaire

[CEI 61643-1, définition 3.1]

3.1.1

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. 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»

[CEI 61643-1, définition 3.4]

3.1.2

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. 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»

[CEI 61643-1, définition 3.5]

3.1.3

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

[CEI 61643-1, définition 3.6]

3.2

essai de classe I

procédure d'essai relative à un parafoudre installé à l'interface des ZPF $0_A/1$, tel que défini dans la CEI 61643-1. D'autres parafoudres sont installés en aval.

Les parafoudres testés selon cette classe sont soumis à l'essai de fonctionnement avec un courant de choc I_{imp}

IEC 61312-4, *Protection against lightning electromagnetic impulse – Part 4: Protection of equipment in existing structures*

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

ITU-T Series K, *Protection against interference*

ITU-T K.20, *Resistibility of telecommunication switching equipment to overvoltages and overcurrents*

ITU-T K.21, *Resistibility of subscriber's terminal to overvoltages and overcurrents*

3 Definitions, abbreviations and symbols

For the purposes of this technical specification, the following terms and definitions apply, in addition to those defined in IEC 61312-1, IEC 61024-1 and IEC 61643-1.

3.1

surge protective device (SPD)

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

[IEC 61643-1, definition 3.1]

3.1.1

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. Common examples of components used as voltage switching devices are: spark gaps, gas tubes, thyristors (silicon-controlled rectifiers) and triacs. These SPDs are sometimes called "crowbar type"

[IEC 61643-1, definition 3.4]

3.1.2

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

[IEC 61643-1, definition 3.5]

3.1.3

combination type SPD

SPD that incorporates both voltage switching type components and voltage limiting type components may exhibit voltage switching, voltage limiting or both voltage switching and voltage limiting behaviour depending upon "their combined parameters" and the characteristics of the applied voltage

[IEC 61643-1, definition 3.6]

3.2

class I test

test procedure for lightning current arrester, which is installed at the interface of LPZ 0_A/1, as defined in IEC 61643-1. Other SPDs are installed sequentially.

SPDs tested according to this class are submitted to the operating duty test with the impulse current I_{imp}

3.3

essai de classe II

procédure d'essai pour les parafoudres définis dans la CEI 61643-1.

Les parafoudres testés conformément à cette classe sont soumis à l'essai de fonctionnement avec un courant de choc $I_{\max}$

3.4

essai de classe III

procédure d'essai pour les parafoudres définis dans la CEI 61643-1.

Les parafoudres testés conformément à cette classe sont soumis à l'essai de fonctionnement avec l'onde combinée

3.5

tension maximale de service permanent U_c

valeur maximale de la tension efficace ou continue qui peut être appliquée de façon continue pour le mode de protection du parafoudre. Elle est égale à la tension assignée

[CEI 61643-1, définition 3.11]

3.6

tension résiduelle U_{res}

valeur crête de la tension qui apparaît entre les bornes d'un parafoudre pendant le passage du courant de décharge

[CEI 61643-1, définition 3.17]

3.7

courant de choc I_{imp}

courant défini par un courant crête, $I_{\text{crête}}$, et la charge Q_S , et essayé conformément à la séquence d'essai de fonctionnement. Il est utilisé pour la classification des parafoudres pour l'essai de classe I

[CEI 61643-1, définition 3.9]

3.8

courant maximal de décharge $I_{\max}$

valeur crête d'un courant de forme d'onde 8/20 s'écoulant dans le parafoudre et d'amplitude conforme à la séquence d'essai de fonctionnement pour la classe II. $I_{\max}$ est supérieur à I_n

[CEI 61643-1, définition 3.10]

3.9

immunité contre les dommages

tenue aux effets conduits et rayonnés de la foudre

[CEI 61312-2, définition 1.3.3]

3.10 Abréviations

EUT	Equipement en essai
ZPF	Zone de protection contre la foudre
MOV	Parafoudre à oxyde métallique
EB	Liaison equipotentielle foudre

3.3

class II test

Test procedure for overvoltage arrester as defined in IEC 61643-1.

SPDs tested according to this class are submitted to the operating duty test with the impulse current $I_{\max}$

3.4

class III test

Test procedure for overvoltage arrester as defined in IEC 61643-1.

SPDs tested according to this class are submitted to the operating duty test with a combination wave

3.5

maximum continuous operating voltage U_c

maximum r.m.s. or d.c. voltage which may be continuously applied to SPDs mode of protection. This is equal to the rated voltage

[IEC 61643-1, definition 3.11]

3.6

residual voltage U_{res}

peak value of voltage that appears between the terminals of an SPD due to the passage of discharge current

[IEC 61643-1, definition 3.17]

3.7

impulse current I_{imp}

current defined by a current peak value I_{peak} and the charge Q_s and tested according to the test sequence of the operating duty test. This is used for the classification of the SPD for class I test

[IEC 61643-1, definition 3.9]

3.8

maximum discharge current $I_{\max}$

crest value of a current through the SPD having an 8/20 waveshape and magnitude according to the test sequence of the class II operating duty test. $I_{\max}$ is greater than I_n

[IEC 61643-1, definition 3.10]

3.9

immunity against damage

withstand capability against conducted and radiated lightning effects

[IEC 61312-2, definition 1.3.3]

3.10 Abbreviations

EUT	Equipment under test
LPZ	Lightning protection zone
MOV	Metal oxide varistor
EB	Lightning protection equipotential bonding

3.11 Symboles

$C_{(T1-3)}$	Capacité de l'enroulement du transformateur BT
di/dt	Vitesse de montée de courant
I_{ES}	Courant de foudre partiel s'écoulant dans la prise de terre du bâtiment frappé par la foudre
I_{ET}	Courant de foudre partiel s'écoulant dans la prise de terre du transformateur BT
I_{foudre}	Courant total de foudre (méthode de calcul simplifiée)
I_{BT}	Courant de foudre partiel s'écoulant dans le réseau BT
$I_{distrib}$	Courant de foudre partiel s'écoulant dans le réseau de distribution du bâtiment frappé par la foudre
I_{neutre}	Partie du courant de foudre s'écoulant dans le conducteur neutre
$I_{crête}$	Courant crête (au premier impact)
I_{SC}	Courant de court-circuit d'un parafoudre (méthode de coordination LTE)
I_{ph1-3}	Courant de foudre partiel dans les conducteurs de phase
l_{CC}	Longueur du câble de connexion
$L_{(1-3)}$	Inductance entre deux parafoudres
L_{CC}	Inductance du câble de télécommunication écrané
L_{CT}	Inductance du câble d'alimentation de puissance
L_{DE}	Inductance de l'élément de découplage
L_{EC}	Inductance de la prise de terre de la sous-station de télécommunication
L_{ES}	Inductance de la prise de terre du bâtiment frappé par la foudre
L_{ET}	Inductance de la prise de terre du transformateur BT
$L_{distrib}$	Inductance de l'ensemble du réseau BT
$L_{(T1-3)}$	Inductance de l'enroulement du transformateur BT
L_{WP}	Inductance de la canalisation d'eau
Q_S	Charge (de l'impact de courte durée)
R_{CC}	Résistance du câble de télécommunication écrané
R_{CT}	Résistance du câble d'alimentation de puissance
R_{DE}	Résistance de l'élément de découplage
$R_{terre/G}$	Résistance du réseau de terre du bâtiment frappé par la foudre (méthode simplifiée)
$R_{terre/1-n}$	Résistance du réseau de terre des bâtiments en parallèle (méthode simplifiée)
R_{EC}	Résistance de la prise de terre de la sous-station de télécommunication

3.11 Symbols

$C_{(T1-3)}$	Winding capacitance of the LV transformer
di/dt	Current rate of rise
I_{ES}	Part of the lightning current through the earthing system of the building struck
I_{ET}	Part of the lightning current through the earthing system of the LV transformer
$I_{lightning}$	Total lightning current (simplified calculation method)
I_{LV}	Part of the lightning current through the LV system
I_{mains}	Part of the lightning current through the power distribution system of the building struck
$I_{neutral}$	Part of the lightning current through the neutral conductor line
I_{peak}	Peak current (of the first stroke)
I_{SC}	Short-circuit current of an SPD (LTE coordination method)
$I_{phase1-3}$	Part of the lightning current through the phase conductor lines
l_{CC}	Length of the connecting cable
$L_{(1-3)}$	Line inductance between two SPDs
L_{CC}	Inductance of the shielded telecommunication cable
L_{CT}	Inductance of the power supply cable
L_{DE}	Inductance of the decoupling element
L_{EC}	Inductance of the earthing system of the substation for telecommunication
L_{ES}	Inductance of the earthing system of the building struck
L_{ET}	Inductance of the earthing system of the LV transformer
L_{mains}	Inductance of the complete (LV) mains network
$L_{(T1-3)}$	Winding inductance of the LV transformer
L_{WP}	Inductance of the waterpipe
Q_S	Charge (of the short-duration stroke)
R_{CC}	Resistance of the shielded telecommunication cable
R_{CT}	Resistance of the power supply cable
R_{DE}	Resistance of the decoupling element
$R_{earth/G}$	Resistance of the earthing system of the building struck (simplified calculation method)
$R_{earth/1-n}$	Resistance of the earthing system of the parallel buildings (simplified calculation method)
R_{EC}	Resistance of the earthing system of the substation for telecommunication

R_{ES}	Résistance de la prise de terre du bâtiment frappé
R_{ET}	Résistance de la prise de terre du transformateur BT
$R_{distrib}$	Résistance de l'ensemble du réseau BT
R_{NL}	Résistance du neutre du transformateur BT
R_{TL}	Résistance de terre de la ligne téléphonique
$R_{(T1-3)}$	Résistance de l'enroulement du transformateur BT
R_{WP}	Résistance de terre de la canalisation d'eau
$R_{(1-3)}$	Résistance de phase entre parafoudres
S_n	Puissance apparente du transformateur BT
T_1	Temps de montée (premier impact)
T_2	Temps jusqu'à mi-valeur (premier impact)
U_{ARC}	Tension d'arc de l'éclateur
U_{DE}	Chute de tension dans l'élément de découplage
U_{OC}	Tension en circuit ouvert du parafoudre (méthode LTE)
U_{charge}	Chute de tension dans la charge
U_N	Tension nominale du réseau
U_{max}	Tension maximale de contrainte
$U_{ref(1mA)}$	Tension de VOM pour un courant de 1 mA
U_{SG}	Chute de tension dans l'éclateur
$W_{max(t=2ms)}$	Absorption maximale d'énergie de la varistance (en 2 ms)
W/R	Energie spécifique (premier impact)
Z_i	Impédance « fictive » d'un générateur à onde combinée
$Z_{distrib}$	Impédance de l'ensemble du réseau BT

4 Menaces importantes – Paramètres du courant de foudre

La menace essentielle créée par la foudre est due à trois composantes de courant:

- premier coup de foudre;
- coup de foudre subséquent;
- coup de foudre de longue durée.

(voir la CEI 61312-1, figure 2)

Les paramètres du courant de foudre pour les différents niveaux de protection sont donnés dans les tableaux 1 à 3 de la CEI 61312-1 (voir note 1).

R_{ES}	Resistance of the earthing system of the building struck
R_{ET}	Resistance of the earthing system of the LV-transformer
R_{mains}	Resistance of the complete LV mains network
R_{NL}	Resistance of the neutral line of the LV transformer
R_{TL}	Resistance of the earthing of the telephone line
$R_{(T1-3)}$	Winding resistance of the LV transformer
R_{WP}	Resistance of the earthing of the waterpipe
$R_{(1-3)}$	Line resistance between two SPDs
S_n	Apparent power of the LV transformer
T_1	Front time (of the first stroke)
T_2	Time to half-value (of the first stroke)
U_{ARC}	Arc voltage of the spark gap
U_{DE}	Voltage drop across the decoupling element
U_{OC}	Open-circuit voltage of an SPD (LTE coordination method)
U_{LOAD}	Voltage drop across the load
U_N	Nominal voltage of the system
U_{max}	Maximum voltage stressing
$U_{ref(1mA)}$	MOV voltage at a current of 1 mA
U_{SG}	Voltage drop across the spark gap
$W_{max(t=2ms)}$	Maximum energy absorption MOV (within 2 ms)
W/R	Specific energy (of the first stroke)
Z_i	"Fictive" impedance of a combination wave generator
Z_{mains}	Impedance of the complete (LV) mains network

4 Relevant threats – Lightning current parameters

The primary lightning threat is given by three current components:

- first stroke
- subsequent stroke
- long-duration stroke

(see IEC 61312-1, figure 2).

The lightning current parameters for the different protection levels are listed in tables 1 to 3 of IEC 61312-1 (see note 1).

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 le coup de foudre subséquent a une énergie spécifique WIR , Q_S , $I_{crête}$ relativement faible et un temps de montée plus court (voir note 2). Un coup de foudre de longue durée n'est qu'un facteur de contrainte supplémentaire pour le parafoudre (de type I); il convient donc de le négliger dans l'aspect de la coordination.

Pour des raisons de coordination, les valeurs caractéristiques nécessaires (par exemple forme d'onde, énergie) sont à dériver de ces paramètres.

- A partir des paramètres de menace appropriés primaires du premier impact, l'onde 10/350 μs est celle définie pour la simulation d'un coup de foudre direct. C'est le courant de choc approprié pour la preuve de coordination des parafoudres.
- En tenant compte de l'interaction entre le courant de foudre direct et l'installation électrique basse tension, la forme d'onde des courants de foudre partiels peut être différente. Dans ce cas, un courant d'essai avec un gradient de montée minimal de 0,1 kA/ μs est aussi pris en compte.

NOTE 1 Les paramètres définissent la menace du courant de foudre. Chaque parafoudre ne subira la contrainte que d'une partie du courant de foudre total.

NOTE 2 La fonction analytique du courant de foudre et les paramètres pour les équations sont donnés dans l'annexe B de la CEI 61312-1 pour des raisons d'analyse.

NOTE 3 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 plus aisée.

NOTE 4 Si des résistances sont utilisées pour le découplage (par exemple parafoudres de télécommunication), il faut prendre en compte le courant crête admissible.

5 Disposition des parafoudres en fonction du concept de zone de protection contre la foudre

5.1 Zones de protection contre la foudre

Le volume à protéger doit être divisé en zones de protection contre la foudre pour définir les volumes des diverses sévérités IEMF. Les services métalliques qui pénètrent dans les limites des zones doivent être reliés à l'équipotentialité à chaque pénétration. Dans la présente spécification technique, il est supposé que le réseau équipotentiel présente une impédance négligeable et que le cheminement des câbles est conforme à 3.5 de la CEI 61312-2. Si cette hypothèse n'est pas satisfaite, se référer à la CEI 61312-3.

5.2 Définitions des zones

Les zones de protection contre la foudre sont définies conformément à 3.1 et aux figures 3 à 5 de la CEI 61312-1. Le principe général pour la division d'un volume à protéger en diverses zones de protection est indiqué aux figures 1a, 1b et 2.

5.3 Disposition des parafoudres aux frontières entre zones

La figure 2 montre un exemple de mise en oeuvre de parafoudres s'inscrivant dans le concept de zones de protection contre la foudre. Les parafoudres sont installés en cascade (voir note 1). Ils sont choisis selon les prescriptions relatives au point de pénétration.

Il est recommandé que les réseaux de puissance et de communication pénètrent dans le volume à protéger à proximité l'un de l'autre et qu'ils soient connectés à une borne commune. Cela est particulièrement important pour un bâtiment (ou volume protégé) réalisé en matériaux ne formant pas d'écran (bois, briques, etc.).

All three components are effective as impressed currents. Concerning the coordination of subsequently installed SPDs, the first stroke is the decisive factor, because the subsequent stroke has a relatively low W/R , Q_S , I_{peak} and shorter current front time (see note 2). The long-duration stroke is only an additional stressing factor for the lightning current arrester SPD (class I test) and should, therefore, be left out of consideration concerning coordination problems.

For coordination purposes, the necessary characteristic values (for example, waveshape, energy) are to be derived from these parameters.

- Starting from the primary relevant threat parameters of the first stroke, the 10/350 μ s waveshape is the defined surge current to simulate a direct lightning strike. This is the appropriate impulse current proofing the energy coordination of SPDs.
- Considering the interaction between direct lightning current and the low-voltage installation, the waveshape of the partial lightning currents within the system may be different. In such cases, a test current with a minimum current steepness of 0,1 kA/ μ s is also to be taken into account.

NOTE 1 The parameters describe the lightning current threat. Each SPD will only be stressed with a portion of the total lightning current.

NOTE 2 The analytical function of the lightning current and the parameters for the equations are given in IEC 61312-1 (annex B) for the purposes of analysis.

NOTE 3 If the SPDs are specified for the first stroke threat, the subsequent stroke causes no additional problems for the SPDs. If inductances are used as decoupling elements, the shorter current rise time makes co-ordination easier.

NOTE 4 In case resistive components are used as decoupling elements (for example, usually in SPDs for information systems), the permissible peak current must be considered.

5 Arrangement of SPDs within the Lightning Protection Zones concept

5.1 Lightning protection zones

The volume to be protected shall be divided into lightning protection zones to define volumes of different LEMP severities. Metal services penetrating zone boundaries shall be bonded at each penetration point. In this technical specification, it is assumed that the bonding network represents a negligibly low impedance and the cable routing is carried out in accordance with 3.5 of IEC 61312-2. If this precondition is not fulfilled then refer for further information to IEC 61312-3.

5.2 Zone definitions

Lightning protection zones are defined according to IEC 61312-1 (see 3.1 and figures 3 to 5). The general principle for the division of a volume to be protected into different lightning protection zones is shown in figures 1a, 1b and 2.

5.3 Arrangement of SPDs at the zone interfaces

Figure 2 shows an example for the application of SPDs for power distribution systems within the Lightning Protection Zones concept. SPDs are installed in sequence (see note 1). They are chosen according to the requirements of the penetration point.

It is recommended that the power and information networks enter the volume to be protected close to each other and be bonded together at a common bar. This is especially important for a building (or the protected volume) made of non-shielding material (wood, bricks, etc.).

Les parafoudres choisis et leur intégration dans l'installation électrique du volume à protéger doivent assurer l'écoulement à la terre d'une partie du courant de foudre à la frontière ZPF 0_A/1.

Lorsque l'énergie initiale de la partie du courant de foudre a été, en grande partie, dissipée, les parafoudres subséquents ne sont conçus que pour traiter la menace restante à la frontière ZPF 0_A/1 ainsi que les effets induits du champ électromagnétique dans ZPF 1 (voir note 2).

C'est pourquoi les conducteurs de liaison des parafoudres individuels doivent présenter une faible impédance (voir note 3).

NOTE 1 La figure 2 montre une structure non protégée dans laquelle les champs électromagnétiques ne sont réduits que par le partage du courant dans le SPF extérieur et par l'effet de distance.

NOTE 2 Si un parafoudre à coupure en tension est installé, il faut qu'il résiste aux contraintes du parafoudre aval avant que le parafoudre amont n'atteigne son seuil de fonctionnement (point aveugle).

NOTE 3 Afin de réaliser une protection optimale contre les surtensions, il faut que tous les conducteurs de connexion, liaisons, câbles des parafoudres soient aussi courts que possible. Les conducteurs de liaison sont ceux entre les conducteurs actifs et le parafoudre et entre le parafoudre et la borne principale de terre ou le conducteur de terre de protection.

6 Prescriptions de fonctionnement des parafoudres

Les prescriptions de fonctionnement des parafoudres doivent être fonction du concept des zones de protection contre la foudre.

Lors du choix des parafoudres, toutes les prescriptions appropriées doivent être considérées, par exemple

- le niveau de protection (y compris les tolérances);
- les prescriptions relatives aux courants et aux énergies;
- les surtensions temporaires.

Les prescriptions résultent des demandes individuelles établies pour chaque zone de protection.

6.1 Transition de ZPF 0_A à ZPF 1

Les services provenant de ZPF 0_A écoulent des courants de foudre partiels.

Il convient que le parafoudre (essai de classe I) écoule ces courants de manière substantielle au niveau de son interface.

Les paramètres du courant de foudre partiel, devant être pris en compte par le parafoudre I, seront choisis, entre autres, parmi les facteurs suivants.

The SPDs chosen and their integration into the whole electrical system of the volume to be protected shall ensure that the partial lightning current will mainly be discharged into the earth termination system at the LPZ 0_A/1.

Once the initial energy of the partial lightning current has been mainly dissipated, the subsequent SPDs only need to be designed to cope with the remaining threat at the interface of LPZ 0_A/1 plus the induced effects by the electromagnetic field within LPZ 1 (see note 2).

Therefore, low impedances of bonding conductors of the individual SPDs are necessary (see note 3).

NOTE 1 Figure 2 shows an unshielded structure, where electromagnetic fields are only reduced due to current sharing in the external LPS and due to the effect of distance.

NOTE 2 If voltage switching type SPDs are installed, it must also be considered for the stress of the subsequent SPD that the previous SPD does not reach its operating threshold ("blind spot").

NOTE 3 In order to achieve an optimum overvoltage protection, all connecting conductors, leads, cables of SPDs must be as short as possible. Connecting conductors are the conductors from the line conductor to the SPD and from the SPD to the main earthing terminal or to the protective earth conductor.

6 SPD performance requirements

The performance requirements of the individual SPDs shall be derived from the Lightning Protection Zones concept.

When selecting SPDs all relevant requirements shall be considered, for example,

- protection level (including tolerances);
- current and energy requirements;
- temporary overvoltages.

The requirements result from the demands of the individual established lightning protection zones.

6.1 Transition from LPZ 0_A to LPZ 1

The lines penetrating from lightning protection zone 0_A are carrying partial lightning currents.

The SPD (class I test) should substantially divert these currents at this interface.

The parameters of the partial lightning current, which have to be taken as stress for SPD I, will be determined by the following factors.

- Niveau de protection prescrit conformément au tableau 1 et à la CEI 61312-1;

Tableau 1 – Paramètres du courant de foudre du premier impact

Paramètres du courant		Niveau de protection		
		I	II	III-IV
Courant de crête I	kA	200	150	100
Temps de montée T_1	μs	10	10	10
Temps jusqu'à mi-valeur T_2	μs	350	350	350
Charge de l'impact de courte durée $Q_S^{1)}$	C	100	75	50
Energie spécifique $W/R^{2)}$	MJ/ Ω	10	5,6	2,5
¹⁾ Puisqu'une grande partie de la charge totale Q est contenue dans le premier impact, la charge de tous les impacts courts est considérée comme incluse dans les valeurs données. ²⁾ Puisqu'une grande partie de l'énergie spécifique W/R est contenue dans le premier impact, l'énergie spécifique de tous les impacts courts est considérée comme incluse dans les valeurs données.				

- L'impédance de terre et les impédances de tous les services métalliques du volume à protéger (par exemple canalisations d'eau, de gaz, câbles de puissance et de communication).
- Schémas des liaisons à la terre (TN, TT, IT...) et configuration du réseau.

En se fondant sur ces paramètres, il convient qu'un calcul du courant partiel de foudre soit effectué (voir l'annexe B pour les compléments).

En tenant compte des règles de coordination de l'isolation dans les installation de puissance de la CEI 60664-1 et de l'immunité contre les dommages de l'équipement à protéger, il est nécessaire que le niveau de protection du parafoudre soit inférieur à une valeur maximale et que le niveau de la menace soit inférieur à cette immunité. Si l'immunité contre les dommages de l'équipement n'est pas connue, des niveaux d'immunité prescrits ou testés conformément à la CEI 61000-4-5 doivent être utilisés.

NOTE En raison de l'existence d'incertitudes dans des applications pratiques, il sera nécessaire de conserver une marge de sécurité suffisante pour le niveau d'immunité.

6.2 Transition de ZPF 0_B à ZPF 1

Dans ZPF 0_B, les champs électromagnétiques dus aux courants de foudre sont prédominants. Un coup de foudre direct est exclu.

Dans ce cas, les effets induits peuvent être simulés soit par un courant de choc de forme d'onde 8/20 μs (classe II), soit par une onde combinée appropriée conforme à la CEI 61643-1 (classe III).

En tenant compte des règles de coordination de l'isolation dans les installations, de puissance de la CEI 60664-1 et de l'immunité contre les dommages de l'équipement à protéger, il est nécessaire que le niveau de protection du parafoudre soit inférieur à une valeur maximale et que le niveau de la menace soit inférieur à cette immunité. Si l'immunité contre les dommages de l'équipement n'est pas connue, il convient que des niveaux d'immunité prescrits ou testés conformément à la CEI 61000-4-5 soient utilisés.

NOTE En raison de l'existence d'incertitudes dans des applications pratiques, il pourrait être nécessaire de conserver une marge de sécurité suffisante pour le niveau d'immunité.

- Required "protection level" according to table 1 and IEC 61312-1.

Table 1 – Lightning current parameters of the first stroke

Current parameters		Protection level		
		I	II	III-IV
Peak current I	kA	200	150	100
Front time T_1	μs	10	10	10
Time to half-value T_2	μs	350	350	350
Charge of the short-duration stroke $Q_S^{1)}$	C	100	75	50
Specific energy $W/R^{2)}$	MJ/ Ω	10	5,6	2,5
¹⁾ Since the substantial part of the total charge Q is contained in the first stroke, the charge of all short-duration strokes is considered to be incorporated in the given values. ²⁾ Since the substantial part of specific energy W/R is contained in the first stroke, the specific energy of all short-duration strokes is considered to be incorporated in the given values.				

- The earthing impedance as well as the impedances of all metal services (for example water and gas pipes, telecommunication and power cables) to the volume to be protected.
- The type of the a.c. supply mains (TN, TT, IT...) and the network configuration.

On the basis of these parameters, a calculation of the relevant partial lightning current should be made (for more information see annex B).

According to the requirements of the insulation coordination in power installations (see IEC 60664-1) and the immunity against damage of the equipment to be protected, it is necessary to keep the voltage protection level of the SPD below a maximum value and the threat always below the immunity against damage of the equipment to be protected. If the immunity against damage is not known, immunity levels required or tested according to IEC 61000-4-5 should be used.

NOTE Due to the existence of uncertainties in practical applications, it could be necessary to keep a sufficient safety margin to the immunity level.

6.2 Transition from LPZ 0_B and LPZ 1

In LPZ 0_B electromagnetic fields caused by lightning currents are dominant. A direct strike is excluded.

In this case, the induced effects should be simulated by means of either a surge current with a waveshape 8/20 μs (class II test) or an adequate combination wave test according to IEC 61643-1 (class III test).

According to the requirements of the insulation coordination in power installations (see IEC 60664-1) and the immunity against damage of the equipment to be protected, it is necessary to keep the voltage protection level of the SPD below a maximum value and the threat always below the immunity against damage of the equipment to be protected. If the immunity against damage is not known, then the immunity level required or tested according to IEC 61000-4-5 should be used.

NOTE Due to the existence of uncertainties in practical applications, it could be necessary to keep a sufficient safety margin to the immunity level.

6.3 Transition de ZPF 1 à ZPF 2

La menace restante de la transition de ZPF 0 à ZPF 1 et les effets induits du champ électromagnétique dans ZPF 1 donnent les prescriptions à satisfaire par le parafoudre de transition entre ZPF 1 et 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 (classe II), soit par une onde combinée conformément à la CEI 61643-1 (classe III). Si le parafoudre I est du type à coupure, une forme d'onde 10/350 μ s est aussi à considérer jusqu'à amorçage de l'éclateur (point aveugle).

En tenant compte des règles de coordination de l'isolation dans les installations de puissance de la CEI 60664-1 et de l'immunité de l'équipement à protéger contre les dommages, il est nécessaire que le niveau de protection du parafoudre soit inférieur à une valeur maximale et que le niveau de la menace soit toujours inférieur à cette immunité. Si l'immunité contre les dommages de l'équipement n'est pas connue, il est recommandé d'utiliser des niveaux d'immunité prescrits ou testés conformément à la CEI 61000-4-5.

Des valeurs plus faibles pourraient être nécessaires pour protéger des équipements sensibles de traitement de l'information (voir la CEI 61000-4-5 et la série de recommandations K de l'UIT-T).

NOTE En raison de l'existence d'incertitudes dans des applications pratiques, il pourrait être nécessaire de conserver une marge de sécurité suffisante pour le niveau d'immunité.

7 Coordination de l'énergie

7.1 Objectif général de la coordination

Le nombre des parafoudres en cascade dans l'installation à protéger est fonction des prescriptions du concept de protection de zone, de l'immunité contre les dommages, de l'équipement à protéger et des caractéristiques des parafoudres utilisés. Les niveaux de protection des parafoudres choisis doivent satisfaire aux prescriptions de la coordination de l'isolement en basse tension et aux niveaux d'immunité des matériels à protéger.

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 chaque courant de choc compris entre 0 et $I_{\max 1}$ ($I_{\text{crête}1}$), la partie d'énergie dissipée dans le parafoudre 2 est inférieure ou égale à la tenue maximale du parafoudre 2 (cela est aussi valable pour les éléments de découplage).

Cette tenue maximale est définie comme l'énergie maximale que peut supporter le parafoudre sans dégradation. Elle peut être obtenue

- à partir des résultats d'essais conformément à l'article 7 de la CEI 61643-1;
- en tenant compte des informations techniques du constructeur.

Il convient que le critère de coordination énergétique de parafoudres soit illustré par un schéma monophasé de base tel que celui illustré à la figure 3. Ce modèle n'est applicable que si l'impédance de la liaison équipotentielle principale (LEP) et l'inductance mutuelle entre cette liaison et l'installation réalisée par la connexion des parafoudres 1 et 2 sont négligeables. Les mesures pour réaliser un tel couplage sont indiquées dans la CEI 61312-4. Pour des impédances plus élevées, il convient de se référer à la CEI 61312-3.

6.3 Transition from LPZ 1 to LPZ 2

The remaining threat of zone transition of LPZ 0 to LPZ 1 and the induced effects by the electromagnetic field within zone 1 define the requirements for the SPDs at the interface from 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 μs (class II test) or an adequate combination wave test according to IEC 61643-1 (class III test). If SPD 1 is a switching type device, the waveshape 10/350 μs is also to be considered until it is triggered ("blind spot").

According to the requirements of the insulation coordination in power installations (see IEC 60664-1) and the immunity against damage of the equipment to be protected, it is necessary to keep the voltage protection level of the SPD below a maximum value and the threat always below the immunity against damage of the equipment to be protected. If the immunity against damage is not known, then the immunity levels required or tested according to IEC 61000-4-5 should be used.

Lower values are likely to be necessary to protect sensitive information systems (see IEC 61000-4-5 and the K series of UIT-T recommendations).

NOTE Due to the existence of uncertainties in practical applications, it could be necessary to keep a sufficient safety margin to the immunity level.

7 Energy coordination

7.1 General objective of coordination

The number of SPDs installed in a system to be protected depends on the requirements of the Lightning Protection Zones concept, the immunity against damage of the equipment to be protected and the characteristics of the SPDs used. The protection levels of the selected SPDs have to meet the requirements of the insulation coordination in low-voltage installations and the immunity levels of the equipment to be protected.

The objective of energy coordination is to avoid that SPDs within an installation are overstressed. The individual stresses of the SPDs depending on their location and characteristics must therefore be clarified.

As soon as more than one SPD is used to protect the equipment and when it has been checked that the protection of SPDs and their location is compatible with the equipment to be protected, a coordination study of these SPDs and the equipment is needed.

The energy coordination is achieved if, for each surge current between 0 and I_{max1} (I_{peak1}), the portion of energy, dissipated through SPD2, is lower than or equal to the maximum energy withstand of SPD 2 (this is also valid for decoupling elements).

The maximum energy withstand is defined as the maximum energy that the SPD is able to withstand with no degradation. It should be obtained by

- electrical testing according to clause 7 of IEC 61643-1;
- taking into account the manufacturer's technical information.

The basic model of an energy SPD coordination should be illustrated by the one-phase circuit diagram shown in figure 3. This model is only valid when the impedance of the common bonding network (CBN) and the mutual inductance between the CBN and the installation formed by the connection of SPD 1 and 2 is negligible. Measures to achieve such low coupling are shown in IEC 61312-4. In cases of higher impedances, refer to IEC 61312-3.

7.2 Principes essentiels de coordination

7.2.1 Généralités

L'objectif de la technologie est de réaliser la coordination entre deux parafoudres en suivant l'un des principes fondamentaux suivants:

- a) Coordination (sans élément complémentaire de découplage autre que les liaisons) se fondant sur les caractéristiques courant/tension.

Ce principe est applicable aux parafoudres de type limitation en tension (par exemple VOM ou diodes). Cette méthode n'est pas très sensible à la forme d'onde du courant.

- b) 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 inductances sont principalement utilisées dans des applications de puissance. Les résistances sont principalement utilisées dans des applications de communication.

Pour cette méthode de coordination, la forme d'onde, plus particulièrement la raideur du courant di/dt , est le paramètre décisif.

NOTE 1 Les éléments de découplage peuvent être soit des dispositifs séparés, soit la résistance et l'inductance naturelles des câbles entre les interfaces de zones et les dispositifs.

NOTE 2 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 $0,5 \mu\text{H/m}$ à $1 \mu\text{H/m}$ (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).

NOTE 3 Il est recommandé que les parafoudres utilisés pour la protection des services pénétrant dans le bâtiment (interface) entre ZPF 0/1 satisfassent aux prescriptions des opérateurs des réseaux.

7.2.2 Coordination de parafoudres de type limitation en tension

La figure 4a montre le schéma d'association des parafoudres. La figure 4b illustre la dissipation d'énergie dans une association de deux parafoudres à limitation de tension. L'énergie totale dans le système augmente avec le 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.

Il convient que la coordination énergétique de deux parafoudres sans éléments de découplage soit réalisée par leur courant permanent et leurs caractéristiques de 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 μs , 8/20 μs).

Pour des formes d'onde avec un temps jusqu'à mi-valeur élevé (par exemple 10/350 μs), les inductances ne sont pas très efficaces pour le découplage de parafoudre de type limitation en tension. Si possible, il est utile de réaliser la coordination par des résistances de découplage (ou par la résistance naturelle des câbles).

Pour des informations complémentaires, voir la CEI 61643-1.

7.2 Fundamental coordination principles

7.2.1 General

The aim of the technology is to realise the coordination between two SPDs by choosing one of the following general principles.

- a) Coordination (without any additional decoupling element other than the wiring) based on the stationary current/voltage characteristic.

This principle is applicable to voltage limiting type SPDs (for example, MOVs or suppressor diodes). This method is not very sensitive to current waveshape.

- b) Coordination by using decoupling elements

For coordination purposes it is possible to use inductances or resistances as decoupling elements which have a sufficient surge withstand capability.

Inductances are primarily used for power system applications. Resistances are primarily used in information system applications.

For this coordination method the waveshape, especially the current steepness di/dt , is the decisive parameter.

NOTE 1 Decoupling elements can be realised either by separate devices, or by using the natural resistance and inductance of cables between zone interfaces and devices.

NOTE 2 The inductance of the cables is that of two parallel lines:

- if both lines (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-sectional area of the wires);
- if both lines are separate cables higher inductances should be assumed (depending on the separation distance of both cables).

NOTE 3 SPDs used for the protection of incoming services into a building (interface) between LPZ 0/1 should comply with network operators' requirements.

7.2.2 Coordination of voltage limiting type SPDs

Figure 4a shows the circuit diagram for this combination of SPDs. Figure 4b illustrates the energy dispersion within a system of two voltage limiting type SPDs. 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 the MOV's maximum energy withstand, the energy coordination is given.

The energy coordination of two SPDs without decoupling elements should be realised by means of their stationary current/voltage characteristic for the relevant range of currents. This method is not very sensitive to current waveshape.

If inductances are used as decoupling elements, the waveshape of the surge current shall be considered (for example, 10/350 μs , 8/20 μs).

For waveshapes with a long time to half-value (for example, 10/350 μs), inductances are not very effective for decoupling voltage limiting type SPDs. If possible, it is useful to realise the coordination by application of resistive decoupling elements (or natural resistances of cables).

For detailed information see IEC 61643-1.

Pour la coordination de ces parafoudres, prendre en compte la tenue de chacun des parafoudres à la forme d'onde du courant de choc. La durée de l'onde ne sera pas raccourcie de façon notable par rapport au courant superposé. L'annexe A (figures A.1 à A.3) donne un exemple de coordination en énergie de parafoudres à limitation de tension (varistance).

7.2.3 Coordination entre un parafoudre à coupure de tension et un parafoudre à limitation en tension

La figure 5a montre un schéma de base de cette variante de coordination utilisant, comme exemples de technologies des éclateurs et des varistances. La figure 5b illustre le principe fondamental de coordination en énergie d'une association d'un parafoudre à coupure en tension et d'un parafoudre à limitation 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}). Avant le fonctionnement, la distribution de tension entre les parafoudres est définie par l'équation (1):

$$U_{\text{SG}} = U_{\text{res}} + U_{\text{DE}} \quad (1)$$

Dès que U_{SG} (tension aux bornes de l'éclateur) dépasse la tension d'amorçage de l'éclateur, la coordination est réalisée. Cela ne dépend que

- des caractéristiques de la varistance;
- du gradient et de la valeur du choc;
- de la tenue de l'élément de découplage (par exemple inductance ou résistance) conformément à la CEI 61643-1.

Si une inductance est utilisée comme élément de découplage, le temps de montée et la valeur crête du courant de choc doivent être considérés (par exemple 10/350 μs , 8/20 μs). Plus dI/dt est élevé, plus l'inductance de découplage doit être faible. Particulièrement pour les parafoudres de classe I et II, un courant de foudre avec une raideur minimale de 0,1 kA/ μs doit être pris en compte (se référer aussi à l'article 2). La coordination entre ces parafoudres doit être assurée à la fois pour le courant de foudre de forme d'onde 10/350 μs et pour la raideur de courant de foudre de 0,1 kA/ μs .

Deux situations de base doivent être considérées:

- Pas d'amorçage de l'éclateur:

Le courant de choc total s'écoule dans la varistance. Cette dernière doit être dimensionnée pour l'énergie du courant de choc. La figure A.5 montre les enregistrements du courant et de la tension pour cette association, dans le cas de non-amorçage du parafoudre amont.

- «Point aveugle»:

C'est le cas le plus critique pour la coordination en énergie de l'éclateur et de la varistance. La tension dans l'éclateur n'atteint toutefois pas la tension dynamique de fonctionnement de l'éclateur amont et la varistance est soumise à une énergie maximale. Dans ce cas, la raideur minimale du courant est très importante si des inductances sont utilisées comme éléments de découplage.

- Amorçage de l'éclateur:

L'amorçage modifie la forme d'onde appliquée à la varistance en aval. La durée de passage du courant dans la varistance est très réduite (voir figure A.6).

Concerning the coordination of such SPDs, take into account that both SPDs shall be dimensioned for the respective surge current wave and energy. The current wave duration will not be remarkably shortened compared to the impinging current. Annex A (figures A.1 to A.3) gives an example of the energetic coordination between voltage limiting type SPDs (MOVs).

7.2.3 Coordination between voltage switching type and voltage limiting type SPDs

Figure 5a shows the basic circuit diagram of this coordination variant using spark gaps and MOVs as example technologies. Figure 5b illustrates the basic principle of energy coordination for the combination of a voltage switching type SPD and a voltage limiting type SPD.

The ignition of the spark gap (SPD 1) depends on the residual voltage (U_{res}) across the MOV (SPD 2) and the dynamic voltage drop across the decoupling element (U_{DE}). Before triggering, the voltage distribution between the SPDs follows (equation (1)):

$$U_{SG} = U_{res} + U_{DE} \quad (1)$$

As soon as U_{SG} (voltage at the terminals of the spark gap) exceeds the dynamic sparkover voltage of the spark gap, the coordination is achieved. This depends only on the

- characteristics of the MOVs;
- rate of rise and magnitude of the incoming surge;
- the behaviour of the decoupling element (for example, inductance or resistance) (see IEC 61643-1).

When using an inductance as a decoupling element, the rise time and peak magnitude of the surge current shall be considered (for example, 10/350 μ s, 8/20 μ s). The greater the di/dt , the smaller the inductance required for decoupling will be. Especially for coordination between SPDs (class I test) and SPDs (class II test), a lightning current with a minimum current steepness of 0,1 kA/ μ s has to be taken into account (refer also to clause 2). The coordination between these SPDs has to be ensured both for the 10/350 μ s lightning current and the minimum lightning current steepness of 0,1 kA/ μ s.

The following two basic situations shall be considered.

- No sparkover of the spark gap:
The complete surge current flows through the MOV. The MOV shall be dimensioned for the energy of this surge current. Figure A.5 shows the current and voltage records at such a combination, in case of no ignition of the upstream spark gap arrester.
- "Blind spot"
This is the most critical case for energy coordination between the spark gap arrester and a MOV arrester. The voltage across the spark gap does not yet reach the dynamic operating voltage of the upstream gap and the MOV is stressed with the maximum energy. In this case the minimum current steepness is of great importance, when using inductances as decoupling elements.
- Sparkover of the spark gap:
The sparkover of a spark gap modifies the surge waveform that stresses downstream MOV. The duration of the current arising at the MOV is considerably reduced (see figure A.6).

7.2.3.1 Détermination de l'inductance de découplage

La figure 6 montre la méthode de principe de détermination de l'inductance de découplage pour les deux critères: onde de courant 10/350 μs et raideur minimale du courant de 0,1 kA/ μs . Les caractéristiques dynamiques U/I des deux parafoudres doivent être prises en compte pour le calcul de l'élément de découplage. La somme de la tension résiduelle U_{RES} de la varistance et de la chute de tension dans l'inductance L_{DE} doit dépasser la tension dynamique de fonctionnement $U_{\text{OV-dyn}}$ de l'éclateur avant que la varistance ne soit soumise à l'énergie maximale E_{max} .

Dans le cas d'un courant de choc 10/350 μs , la raideur et, par conséquent, la tension dynamique dans l'éclateur dépendent de l'amplitude admise I_{max} du courant de foudre 10/350 (déterminée par E_{max} de la varistance). Pour ce critère, la tension de fonctionnement de l'éclateur est généralement donnée par la surtension de choc à 1 kV/ μs .

Dans le second cas, la rampe 0,1 kA/ μs avec élévation linéaire du courant, la chute de tension dans L_{DE} est constante. L'élévation de potentiel dans l'éclateur suit les caractéristiques U/I de la varistance. Ainsi, du/dt dans l'éclateur est beaucoup plus faible que dans le premier cas. Cela entraîne une diminution de la tension de l'éclateur en fonction de sa caractéristique de tension dynamique de fonctionnement. Cette tension diminue pendant une durée plus longue que lors de la chute de tension constante dans l'éclateur (durée dépendant de E_{max} de la varistance). La tension de fonctionnement peut décroître presque jusqu'à la tension continue de fonctionnement à 500 V/s pour des durées d'écoulement plus longues dans la varistance.

Après prise en compte des deux cas, la valeur la plus élevée des inductances $L_{\text{DE-10/350}}$ et $L_{\text{DE-0,1kA}/\mu\text{s}}$ doit être appliquée pour l'inductance de découplage L_{DE} .

Les figures A.7 et A.8 donnent un exemple de détermination de L_{DE} .

NOTE 1 Dans le cas d'une alimentation basse tension, le cas le plus défavorable de détermination d'un élément de découplage est donné par un court-circuit mais, pour des raisons de coordination, cela n'est pas approprié. Il est plus réaliste de déterminer le cas le plus défavorable par une tension de charge (tension de comptage). Le parafoudre en aval d'un éclateur est généralement une varistance sans ou avec éclateurs. La tension résiduelle de ces parafoudres est dans tous les cas supérieure à la valeur crête de la tension d'alimentation nominale (par exemple, dans un système à courant alternatif avec une alimentation nominale de 240 V, la tension crête est $\sqrt{2} \times 240 \text{ V} = 340 \text{ V}$, laquelle est inférieure à la tension de référence des parafoudres installés). Cette tension nominale d'alimentation correspond à la tension résiduelle la plus faible des parafoudres. C'est pourquoi cette tension crête est prise comme la tension minimale de charge. En utilisant le courant de court-circuit au lieu de la tension de charge, l'élément de découplage sera surdimensionné.

NOTE 2 L_{DE} est l'inductance réelle de l'élément de découplage.

7.2.4 Coordination entre 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 forme d'onde (particulièrement la valeur de di/dt) doit être considérée.

7.2.3.1 Determination of the decoupling inductance

Figure 6 shows the principle procedure for determination of the required decoupling inductance for both the "10/350 μ s lightning current" criterion and the "0,1 kA/ μ s minimum lightning current steepness" criterion. The dynamic U/I characteristics of both SPDs shall be observed for determination of the necessary decoupling element. The sum of the MOV's residual voltage U_{RES} and the voltage drop across the inductance L_{DE} has to exceed the dynamic operating voltage U_{OV-dyn} of the spark gap before the MOV is stressed by its maximum energy E_{max} .

In the case of the 10/350 μ s impulse current, the current steepness and therefore the dynamic voltage across the spark gap depends on the permissible amplitude I_{max} of the 10/350-lightning current (determined by E_{max} of the MOV). For this criterion, the operating voltage of the SG is usually described by the impulse sparkover voltage at 1 kV/ μ s.

In the second case, the 0,1 kA/ μ s ramp with its linear current rise, the voltage drop across L_{DE} is constant. The voltage rise across the spark gap follows the U/I characteristics of the MOV. Therefore, the du/dt across SG is much lower compared to the first case. This causes a reduction of the sparkover voltage according to the dynamic operating voltage characteristic of the spark gap. This sparkover voltage decreases with a longer duration of the constant voltage drop across SG. (This duration depends on E_{max} of the MOV.) The operating voltage should be assumed to decrease almost to the d.c. operating voltage at 500 V/s for increasing times of a current flowing through the MOV.

After consideration of both cases the higher value out of the determined inductances $L_{DE-10/350}$ and $L_{DE-0.1kA/\mu s}$ shall be applied for the decoupling inductance L_{DE} .

Figures A.7 and A.8 give an example for determination of L_{DE} .

NOTE 1 In case of a low-voltage power supply, the worst case for the design of the decoupling element is given by a short circuit, but for coordination purposes, this is not relevant. It is more realistic that the worst case is given by a load side voltage (load voltage). The SPDs downstream of a spark gap usually consist of MOVs or MOVs with series gaps. The residual voltage of such SPDs is in any case higher than the peak value of the nominal power supply voltage (for example, in an a.c. system with a nominal voltage of 240 V the peak power voltage is $\sqrt{2} \times 240 \text{ V} = 340 \text{ V}$, which is below the reference voltage of the installed SPDs). This peak nominal power supply voltage corresponds to the lowest possible residual voltage of SPDs. Therefore, this peak voltage is taken as the minimum possible load voltage. Using the current in a short circuit, instead of assuming a load voltage, would result in an over-dimensioning of the decoupling element.

NOTE 2 L_{DE} is the effective inductance of the decoupling element.

7.2.4 Coordination between voltage switching type SPDs

This coordination variant is described by the example technology of spark gaps. For the coordination between spark gaps, the dynamic operating characteristics shall be used.

After sparkover of spark gap 2, the coordination will be realised by means of a decoupling element. To determine the necessary value of the decoupling element, spark gap 2 should be replaced by a short circuit. For the ignition of spark gap 1, the dynamic voltage drop across the decoupling element shall be higher than the operating voltage of spark gap 1.

If inductances are used as decoupling elements, the waveshape (especially the di/dt value) shall be considered.

Si des résistances sont utilisées, le courant crête de choc est décisif pour déterminer la valeur de la résistance de découplage. La tension résistive chute en raison du courant de choc et doit être 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 En raison des différences lors de la construction, des diverses formes d'ondes, etc., une tolérance sur les caractéristiques des parafoudres est généralement admise. Pour des éclateurs et des parafoudres à décharge de gaz, le front de choc est essentiel.

7.3 Variantes de coordination de base pour les systèmes de protection

A ce jour, il existe quatre variantes de coordination. 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.

Variante I

La même tension résiduelle U_{res} est choisie pour tous les parafoudres qui présentent une caractéristique continue courant/tension (tels que varistances, diodes).

La coordination entre parafoudres et équipement à protéger est normalement réalisée par l'impédance des lignes entre eux (voir figure 7).

NOTE La tolérance sur les composants peut influencer les résultats.

Variante II

En 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. Cette tension est augmentée depuis le parafoudre amont jusqu'à chaque parafoudre en aval (voir figure 8).

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 soit plus élevée que celle du parafoudre installé immédiatement en amont.

Variante III

Le parafoudre 1 (voir figure 9) inclut un composant présentant une caractéristique discontinue courant/tension (coupure en tension, éclateur). Les parafoudres en aval présentent une caractéristique continue courant/tension (limitation en tension).

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 μs est réalisée, ce qui entraîne un soulagement considérable pour les parafoudres en cascade.

NOTE Des informations complémentaires relatives aux lignes de transmission sont données dans la série de recommandations K de l'UIT-T.

When using resistances, the surge current peak value is decisive for the necessary resistive value of the decoupling element. The resistors' voltage drops caused by the surge current shall be considered when selecting the pulse rating parameters of the device.

After the ignition of spark gap 1, the total energy will be subdivided according to the stationary current/voltage characteristic of the individual elements.

NOTE Due to the differences in manufacturing processes, various surge impulse shapes, etc. a tolerance of SPD characteristics is generally to be considered. In case of spark gaps/gas discharge, the impulse steepness is of major importance.

7.3 Basic coordination variants for protection systems

Today there are four coordination variants for protection systems. The first three of them are based on current technologies for one-port SPDs and SPDs of type II and III. Variant IV is for two-port SPDs with integrated decoupling elements. Using these coordination variants it is necessary also to take into account those SPDs which should be integrated into the equipment to be protected.

Variant I

The same residual voltage U_{res} is taken for all SPDs having a continuous current/voltage characteristic (such as varistors, diodes).

The coordination of the SPDs and the equipment to be protected is normally achieved by the impedances of lines between them (see figure 7).

NOTE The tolerance on components may influence the result.

Variant II

In variant II, all SPDs have a continuous current/voltage characteristic (such as varistors, diodes).

The residual voltages U_{res} of SPDs are stepped. The residual voltage rises from the first SPD to each subsequent SPD (see figure 8).

This is a coordination variant for power supply systems.

NOTE This variant requires that the residual voltage of the protective component which is installed in the equipment to be protected be higher than the residual voltage of the SPD which is installed directly before.

Variant III

SPD 1 (figure 9) includes a component having a discontinuous current/voltage characteristic (switching type SPD, like a spark gap). Subsequent SPDs have components with continuous current/voltage characteristics (limiting type SPDs).

The characteristic of this variant is that by the "switching behaviour" of the first SPD, 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.

NOTE Additional information concerning information lines is given in the K series of recommendations of ITU-T.

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 10). Une coordination réussie signifie un transfert minimal d'énergie vers les parafoudres aval ou les équipements. Ces parafoudres doivent être totalement coordonnés avec les autres parafoudres du système selon les variantes appropriées I, II ou III.

7.4 Méthode de coordination selon l'«énergie passante» (EP)

La coordination en fonction des paramètres normatifs de choc normalisés est une méthode de choix et de coordination des parafoudres. Le principal avantage de cette méthode est la possibilité de considérer un parafoudre comme une boîte noire (voir figure 11). Par ce moyen, pour un choc donné en entrée, non seulement la tension en circuit ouvert est déterminée, mais aussi le courant de sortie (par exemple de court-circuit) (principe de l'énergie passante). Ces caractéristiques de sortie sont converties en contrainte-onde combinée $2\ \Omega$ (tension en circuit ouvert 1,2/50 μs , courant de court-circuit 8/20 μs). L'avantage est qu'il n'est pas nécessaire de connaître la conception interne du parafoudre.

NOTE Cette méthode donne de bons résultats si le parafoudre 2 n'influe pas sur le parafoudre 1. Cela est réalisé si les caractéristiques tension/courant du parafoudre 1 sont différentes de celles du parafoudre 2 et que les conditions de choc du parafoudre 2 sont quasiment celles du courant; par exemple dans le cas de la coordination entre un éclateur et une varistance ou une diode, où cette condition est remplie.

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 étagée, il doit être vérifié que le choc hybride équivalent pouvant être déchargé au parafoudre en aval (sans dommage) est égal ou supérieur à celui du parafoudre en amont.

Pour une coordination efficace, le choc hybride équivalent doit être déterminé 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 61643-1.

7.5 Coordination entre un parafoudre et l'équipement à protéger

7.5.1 Choix du parafoudre

Le parafoudre directement en amont de l'équipement à protéger doit être coordonné avec ce dernier en tenant compte de leurs caractéristiques.

Cette coordination doit être telle que l'immunité contre les dommages de l'équipement à protéger ne soit pas dépassée, quel que soit le paramètre.

Pour des informations complémentaires relatives à la tenue de l'équipement, se référer aux publications suivantes:

- CEI 61000-4-5;
- UIT-T K.20, UIT-T K.21;
- CEI 60664-1.

NOTE Il convient de noter que l'équipement conforme aux normes ci-dessus peut l'être par l'intégration interne d'un parafoudre et que ses paramètres peuvent affecter ou altérer les principes de coordination considérés.

Variant IV

It is possible to construct two-port SPDs that incorporate cascaded stages of SPDs internally coordinated with series impedances or filters (figure 10). The successful internal coordination means minimum energy transfer to downstream SPDs or equipment. These SPDs shall be fully coordinated with other SPDs in the system in accordance with variant I, II or III as appropriate.

7.4 Coordination method according to "let-through energy" (LTE)

The coordination with standard impulse parameters is a procedure to select and coordinate SPDs. The main advantage of this method is the possibility to consider an SPD like a black box (see figure 11). Hereby, for a given surge at the input port, not only the open-circuit voltage, but also an output current (for example, into a short circuit) is determined (principle of "let-through energy"). These output characteristics are converted into an equivalent 2 Ω -combination wave stress (open-circuit voltage 1,2/50 μ s, short-circuit current 8/20 μ s). The advantage is that there is no need for special knowledge of the internal design of the SPDs.

NOTE This method gives good results when no reaction from SPD 2 to SPD 1 exists. This happens when the current voltage characteristic of SPD 1 is so different from that of SPD 2 that the surge conditions of SPD 2 are quasi impressed current conditions; for example in the case of the coordination between a spark gap and a MOV or a silicon diode, this condition is fulfilled.

The aim of this coordination method is to make the input values of an SPD 2 (for example, discharge current) comparable to the output values of an SPD 1 (for example, voltage protection level).

At stepped protection, it shall be considered that the equivalent input hybrid impulse which can be discharged by the following SPD (without damage) is equal to, or higher than, the equivalent output hybrid impulse of the preceding SPD.

For reliable coordination, the equivalent hybrid impulse shall be determined by the worst case of the stressing ($I_{\max}$, $U_{\max}$, let-through energy).

NOTE Additional information concerning this coordination method is given in IEC 61643-1.

7.5 Coordination between an SPD and the equipment to be protected

7.5.1 Selection of the SPD

Both the SPD which is installed directly at the input of the equipment to be protected and the equipment itself shall be coordinated with regard to their characteristics.

This coordination shall be of such a kind that the immunity against damage of the equipment to be protected will not be exceeded for any relevant parameter.

For any details concerning the withstand capability of the terminal equipment, refer to the following standards:

- IEC 61000-4-5;
- ITU-T K.20, ITU-T K.21;
- IEC 60664-1.

NOTE It should be noted that equipment achieving the above standards should do so by the internal inclusion of SPDs and that the parameters of these devices may affect or alter the coordination principles being considered.

7.5.2 Emplacement du parafoudre

Malgré une coordination énergétique appropriée, des dommages peuvent apparaître sur les bornes de l'équipement si le parafoudre n'est pas installé sur ou à proximité de l'équipement à protéger. La raison en est le phénomène de réflexion sur les conducteurs entre le parafoudre et l'équipement à protéger, pouvant conduire à un doublement (typique) de U_{res} .

Pour plus d'informations relatives à ces phénomènes, voir l'annexe C.

NOTE La mise en oeuvre de parafoudres complémentaires crée des interfaces d'autres ZPF.

8 Synthèse

La réalisation de la coordination énergétique de tous les parafoudres d'un système, y compris l'équipement à protéger, est essentielle pour l'efficacité de la protection.

Les paramètres fondamentaux nécessaires à la coordination de parafoudres individuels doivent être déclarés par le constructeur des parafoudres.

Il convient que la coordination soit démontrée par ce qui suit.

a) Essai de coordination

La démonstration de la coordination par essai est possible en tenant compte des trois schémas de base des parafoudres (voir figures 4, 5 et 6).

b) Calcul

La démonstration de la coordination par calcul est possible avec des précisions différentes. Au moyen d'un programme de simulation, des systèmes complexes peuvent également être vérifiés de manière efficace.

c) Application de familles de parafoudres coordonnés

Pour les utilisateurs, cela est la variante la moins onéreuse. Dans ce cas, le constructeur des parafoudres doit démontrer la coordination.

d) Méthode de coordination par énergie passante

La démonstration de cette méthode de coordination est effectuée par l'estimation de l'énergie passante (voir 5.4).

7.5.2 Place of installation

Despite application of the correct energy coordination, there may be damage at the terminal equipment if the SPD is not installed at, or in the neighbourhood of, the equipment to be protected. The reason is that there are reflection phenomena on the conductors between SPD and the equipment to be protected which may result in (typical) doubling U_{res} .

For more information concerning these phenomena, see annex C.

NOTE Installation of additional SPDs creates interfaces of further LPZ boundaries.

8 Summary

The realisation of the energy coordination of all SPDs installed in a system, including the equipment to be protected, is decisive for the efficiency of the protection.

Basic parameters for the coordination of individual SPDs shall be declared by the producer of SPDs.

The coordination should be proved by the following.

a) Coordination test

Proving coordination by testing is possible by taking care of the three basic schemes of SPDs (see figures 4, 5, 6).

b) Calculation

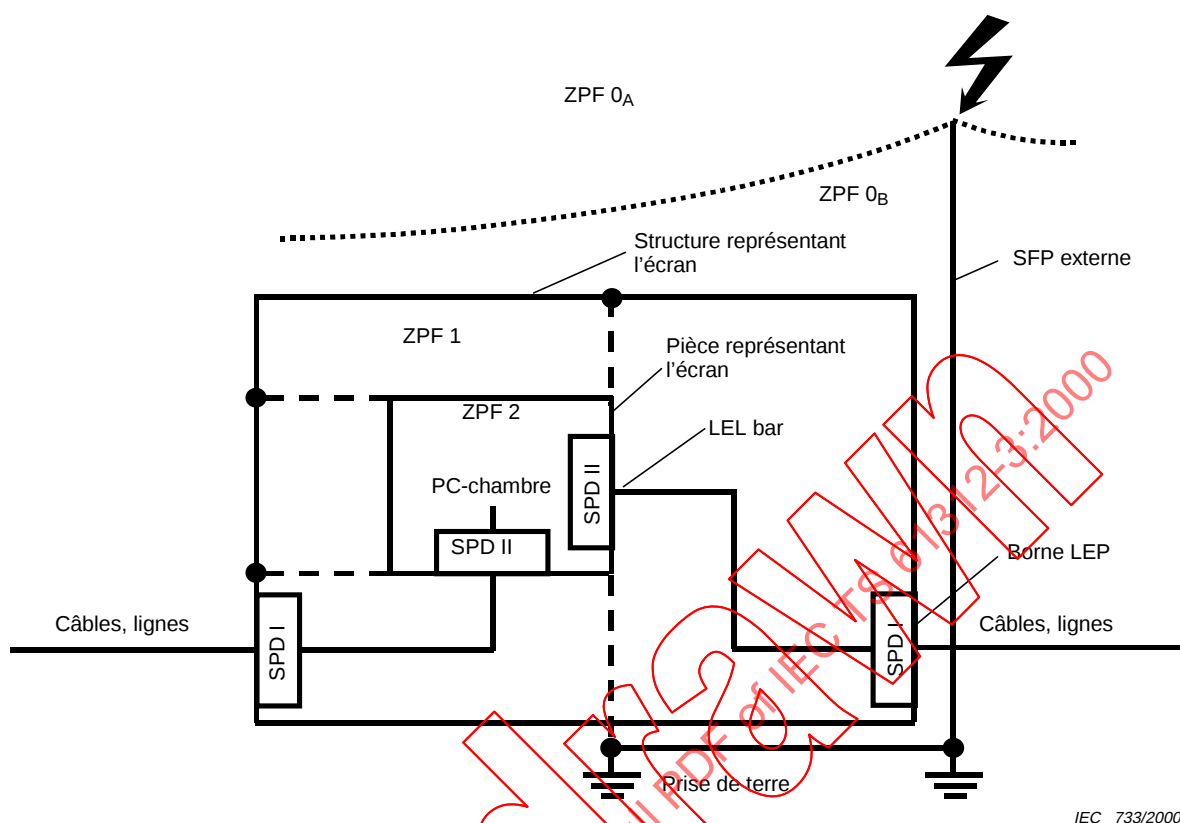
Proving coordination by calculation is possible with different accuracy. By means of computer simulation, complex systems can also be effectively examined.

c) Application of intercoordinated SPD families

For the users, this is the least onerous variant. In this case, the producer of SPDs should prove the coordination.

d) Coordination method according to let-through energy (LTE)

Proving the coordination is possible by evaluation of the let-through energy (see 5.4).



Composants

- ZPF Zone protection foudre
LEL Liaison équipotentielle locale

Figure 1a – Exemple de division d'une structure en plusieurs ZPF et en équipotentialités appropriées

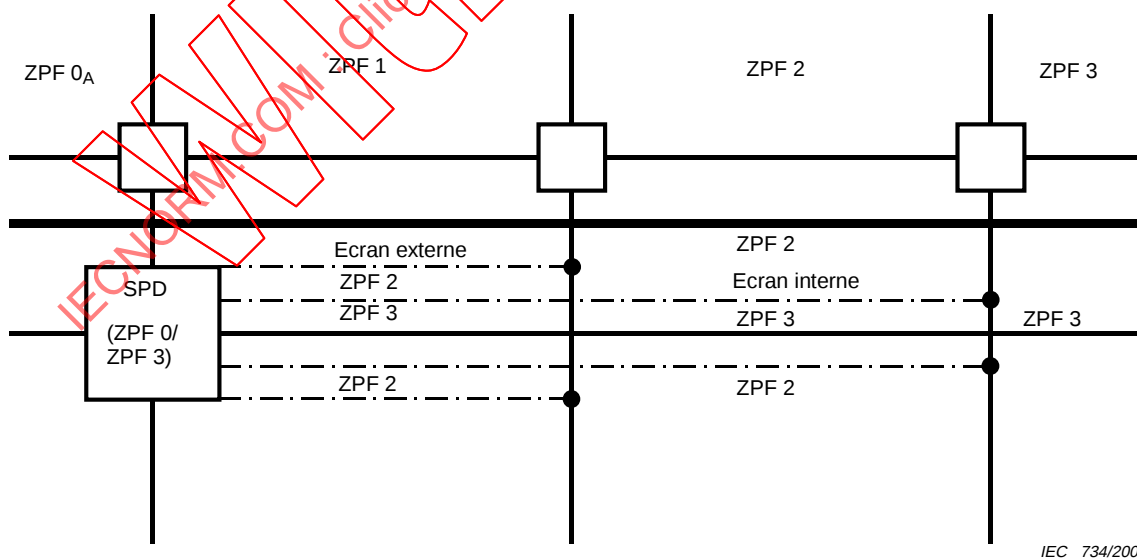
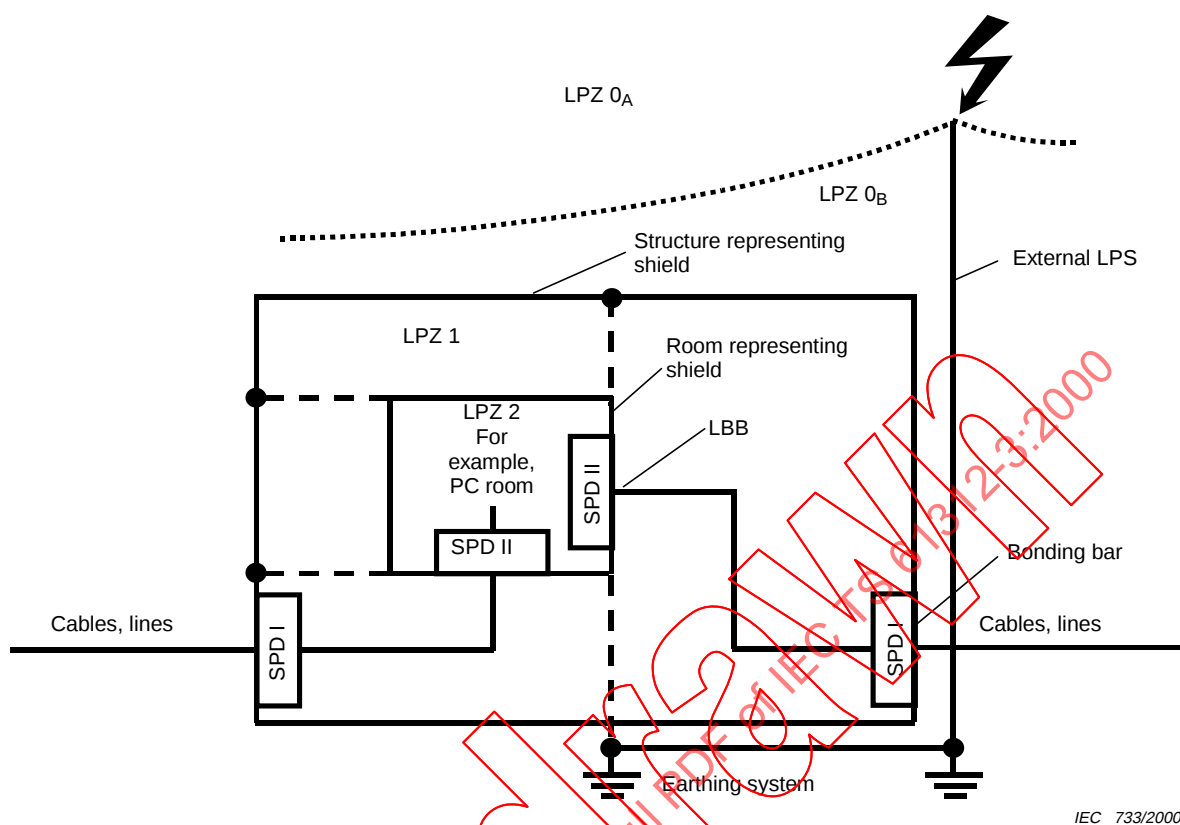


Figure 1b – Exemple de conception de ZPF avec un parafoudre unique et un câble à double écran

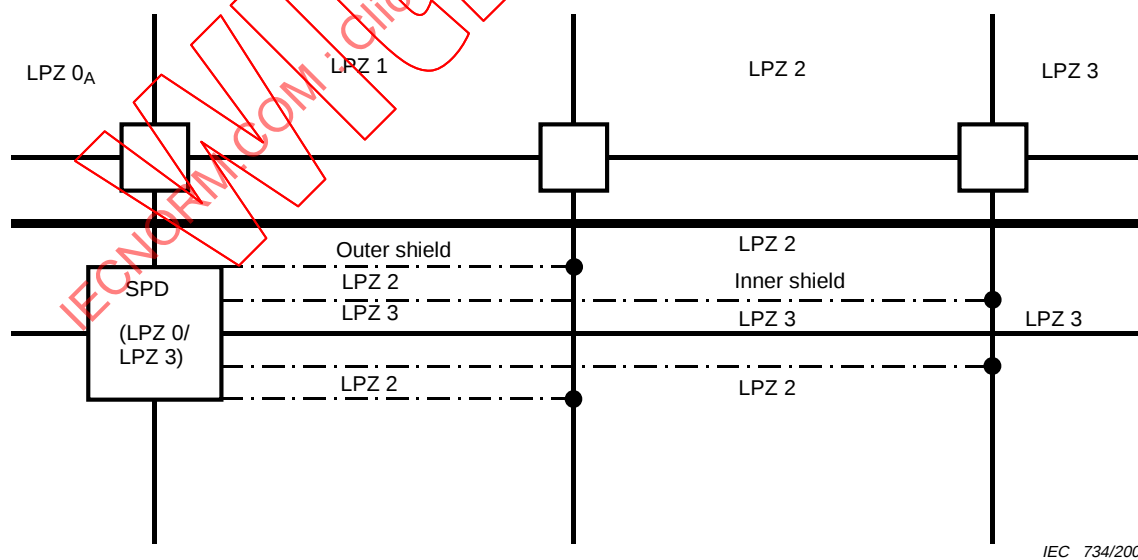


IEC 733/2000

Components

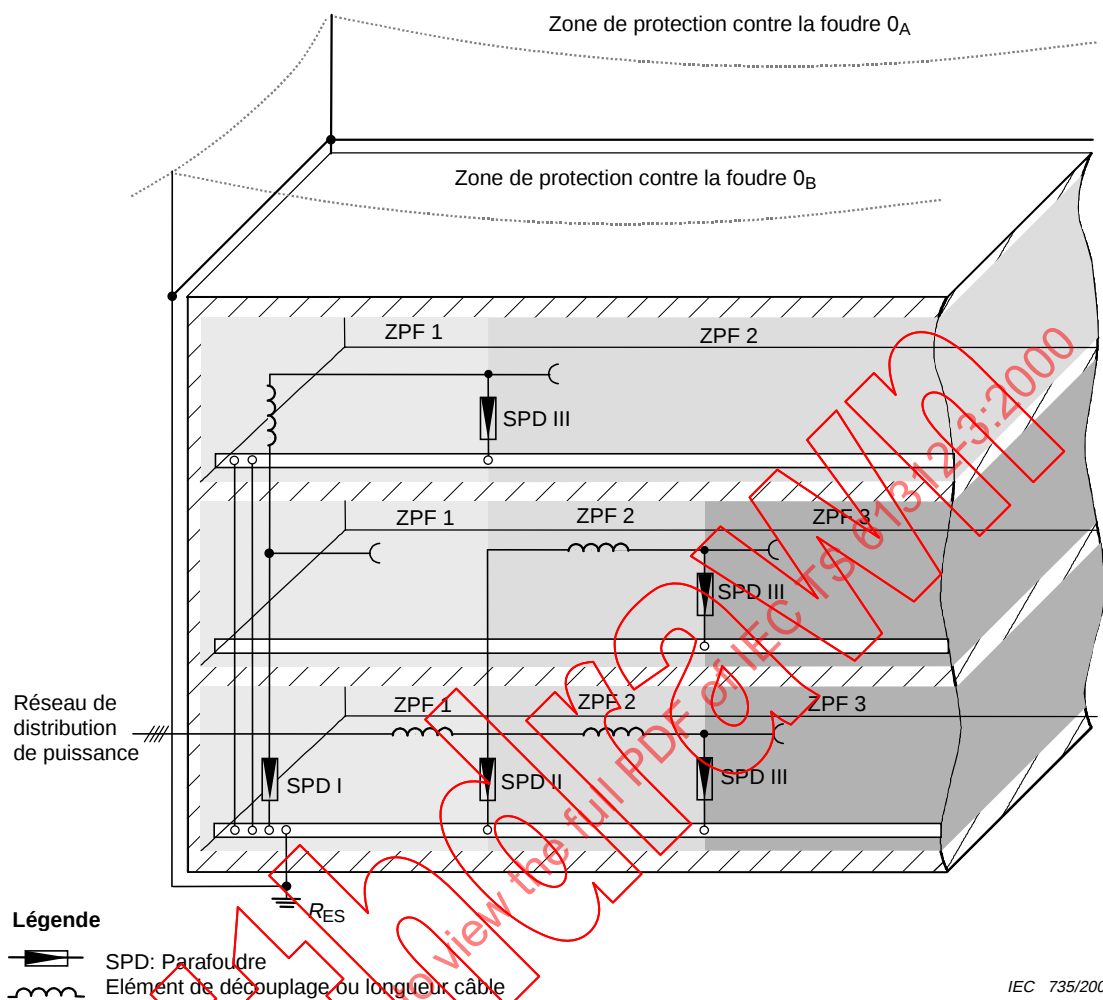
LPZ Lightning protection zone

LBB Local bonding bar

Figure 1a – Example for dividing a structure into several LPZs and adequate bonding

IEC 734/2000

Figure 1b – Example of the design of LPZs with a single SPD and a double-shielded cable



NOTE Les parafoudres peuvent également être installés entre les conducteurs actifs.

Pour les structures existantes, voir la CEI 61312-3.

Figure 2 – Exemple de division de structures en plusieurs ZPF avec les équipotentialités appropriées

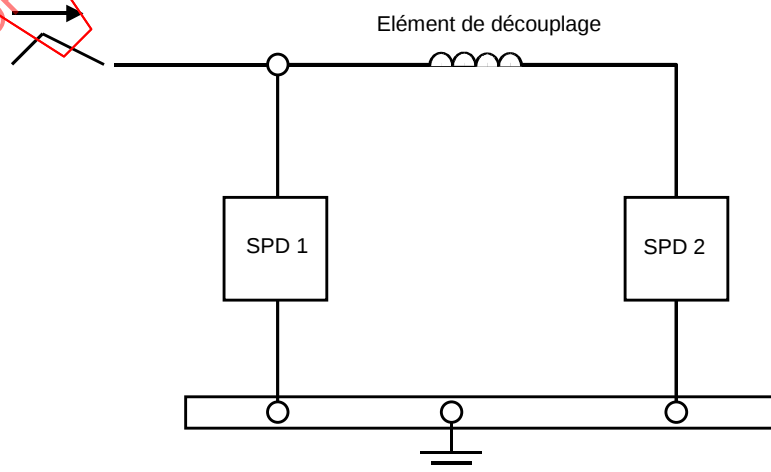
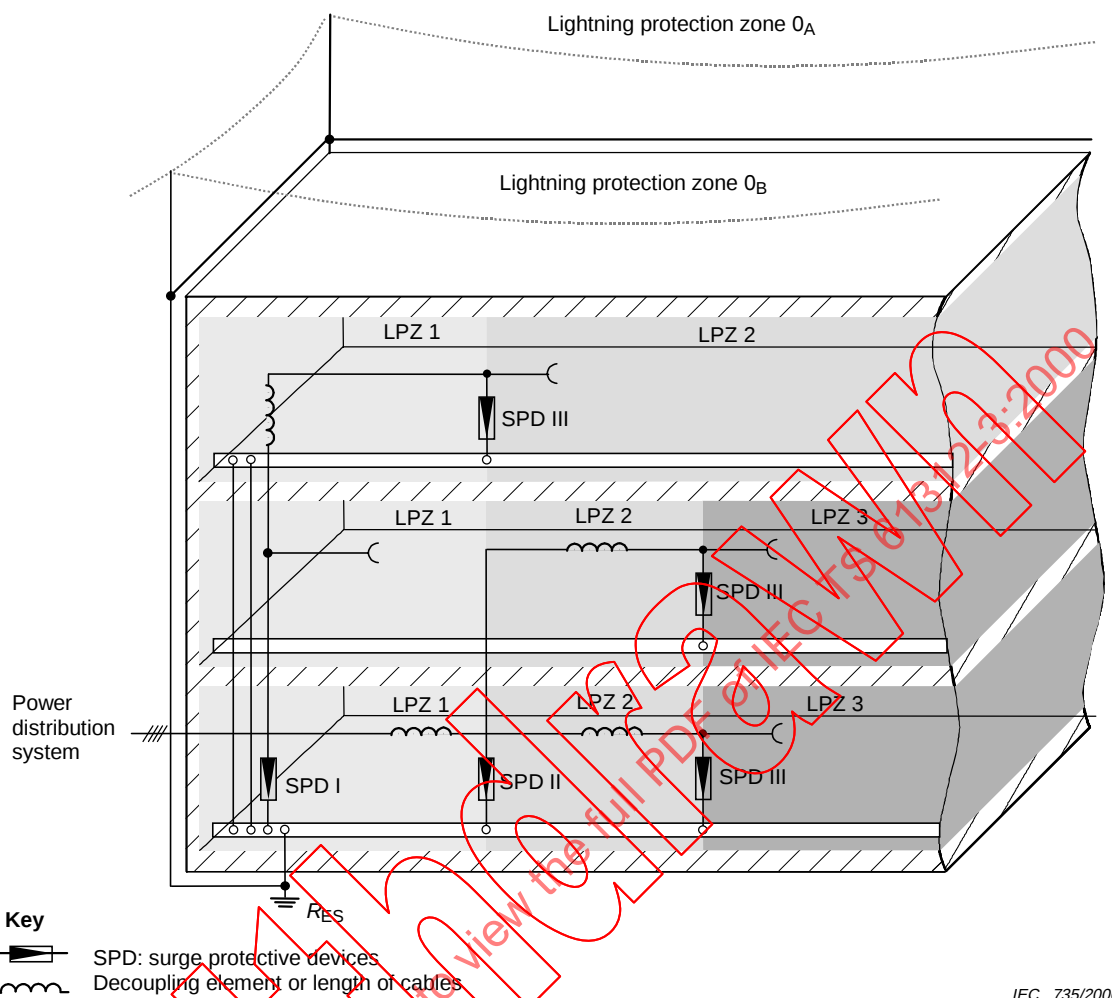


Figure 3 – Modèle de base de coordination en énergie de parafoudres dans des structures avec faible impédance de la LEP (voir 8.1)



NOTE SPDs can also be installed between the active conductors.

For existing structures, refer to IEC 61312-3.

Figure 2 – Example for dividing a structure into several LPZs, with the appropriate bonding

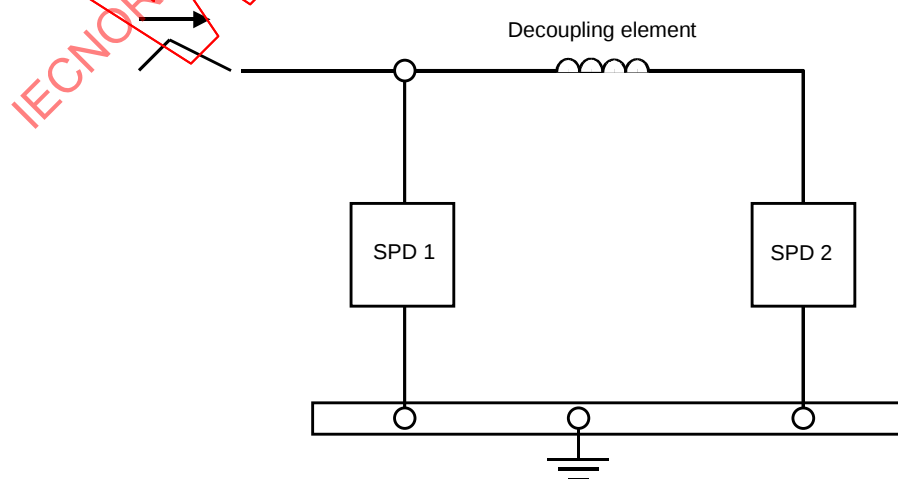


Figure 3 – Basic model for energy coordination of SPDs in structures with a negligible low impedance of the CBN (see 8.1)

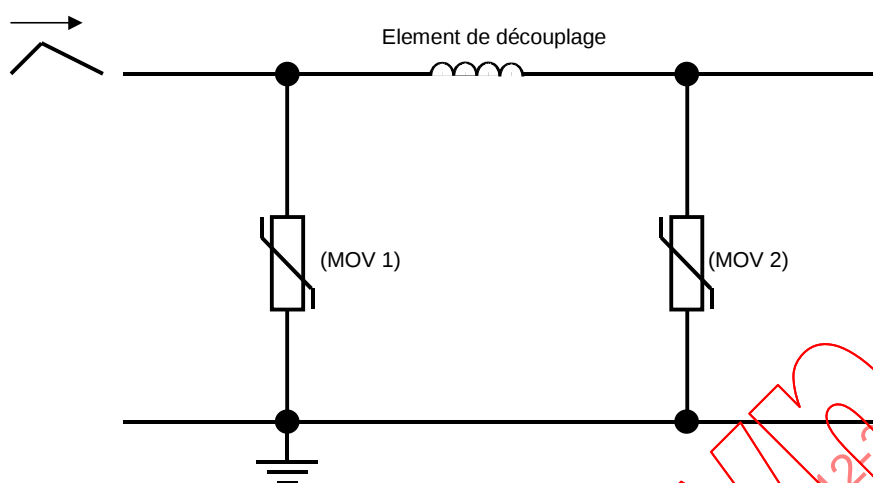


Figure 4a – Association de base de deux parafoudres (du type à limitation de tension)

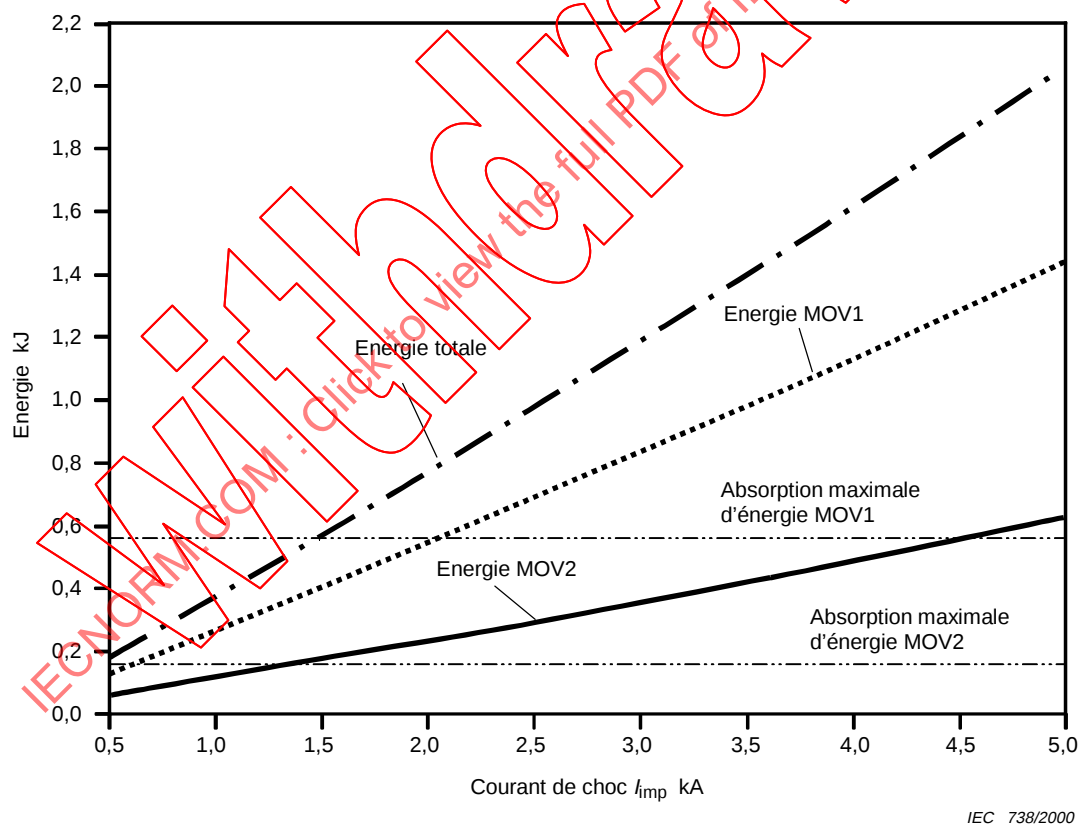


Figure 4b – Principe de base pour la coordination en énergie de deux parafoudres du type à limitation de tension

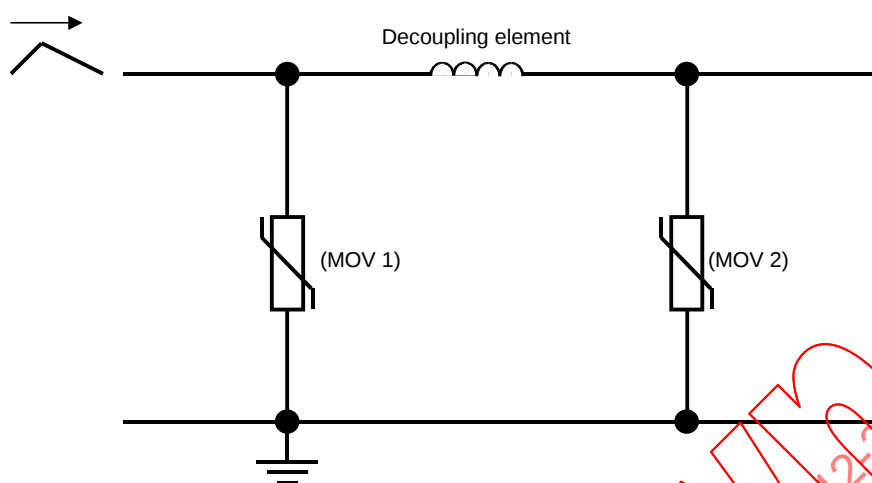
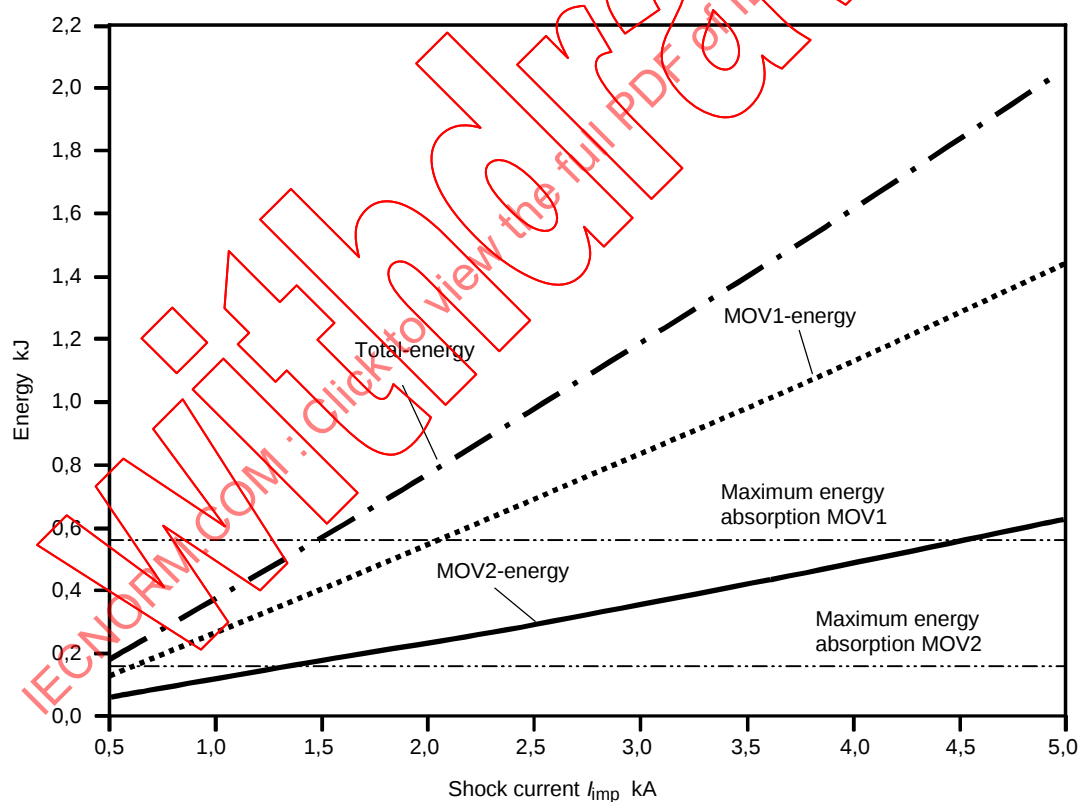


Figure 4a – Basic combination of two SPDs (voltage limiting type)



IEC 738/2000

Figure 4b – Basic principle for energy coordination of two SPDs (voltage limiting type)

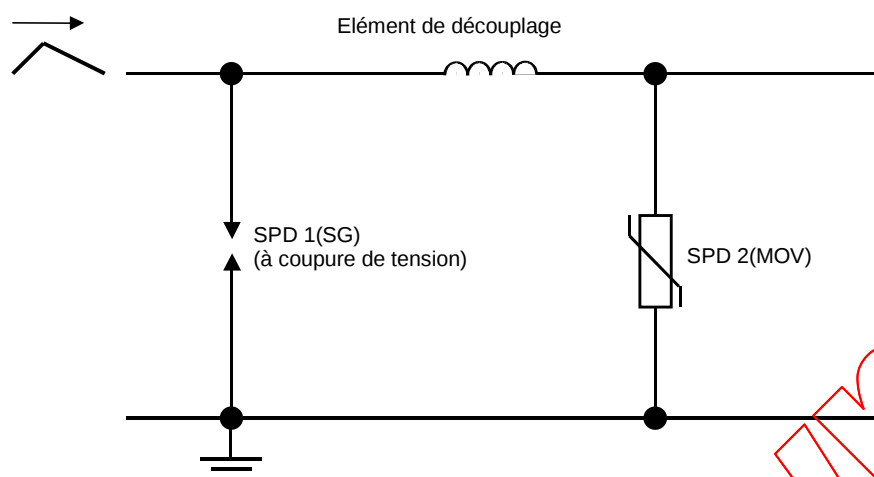


Figure 5a – Association de deux parafoudres à coupure et à limitation de tension

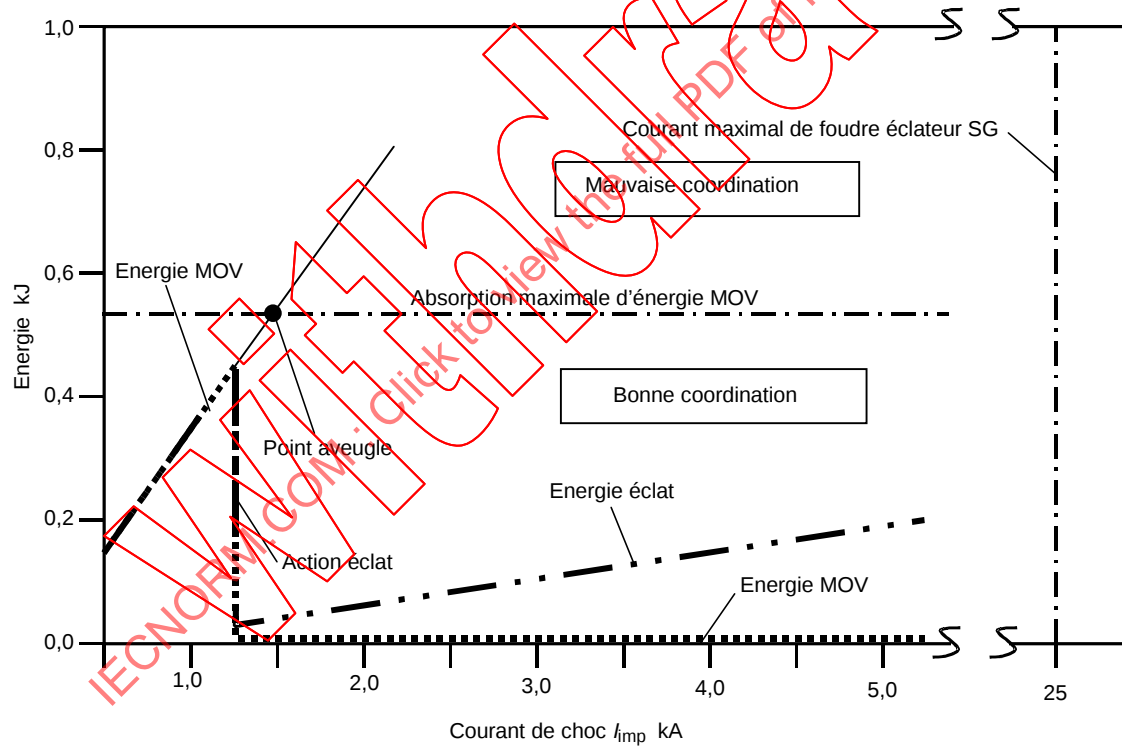


Figure 5b – Principe de base pour la coordination en énergie de deux parafoudres de type à coupure et à limitation en tension

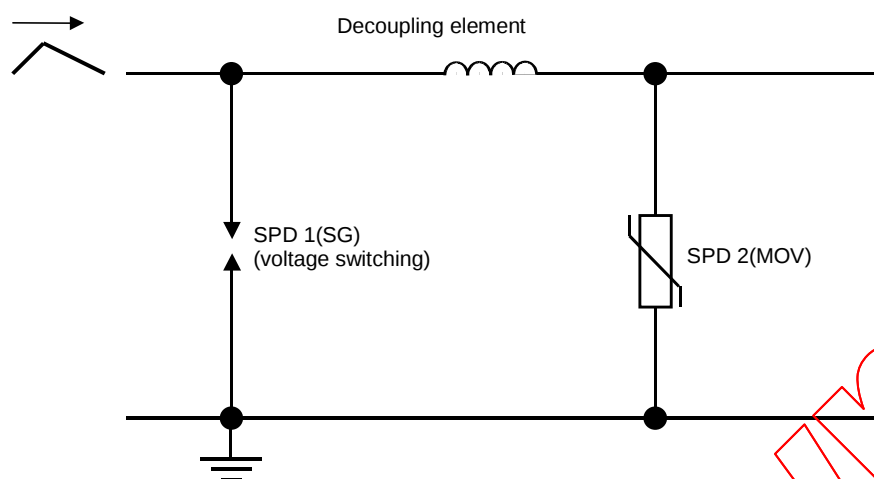


Figure 5a – Basic combination of two SPDs: voltage switching type (SPD 1) and voltage limiting type (SPD 2)

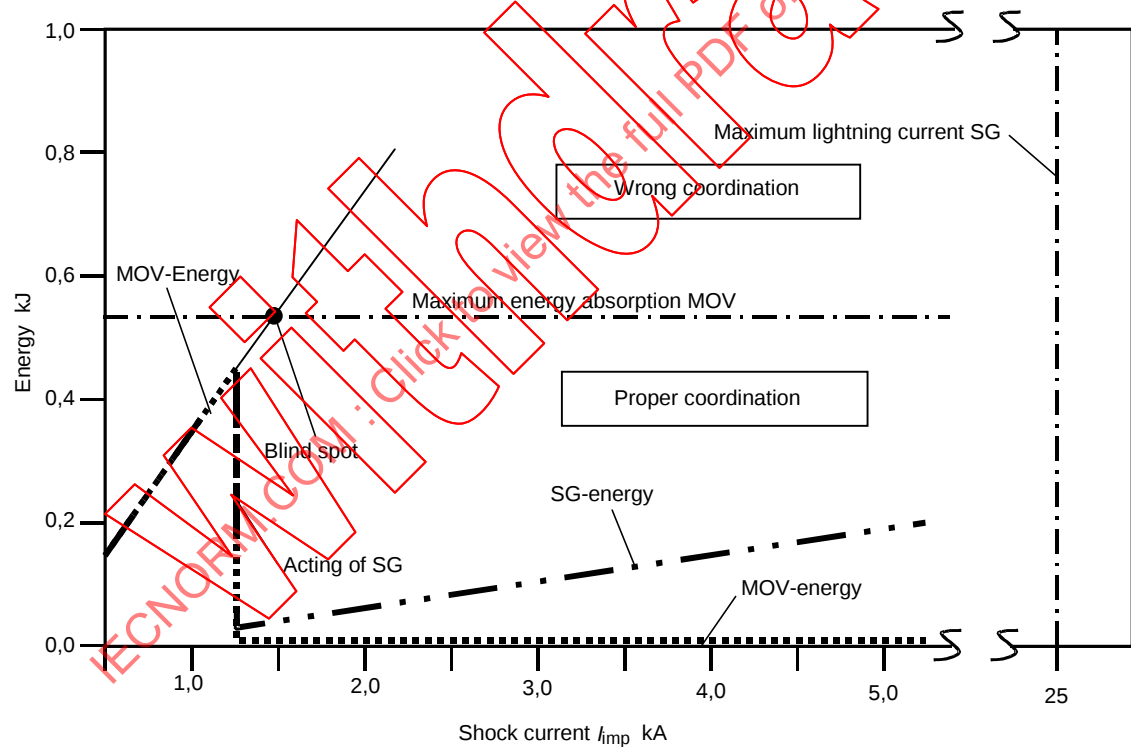
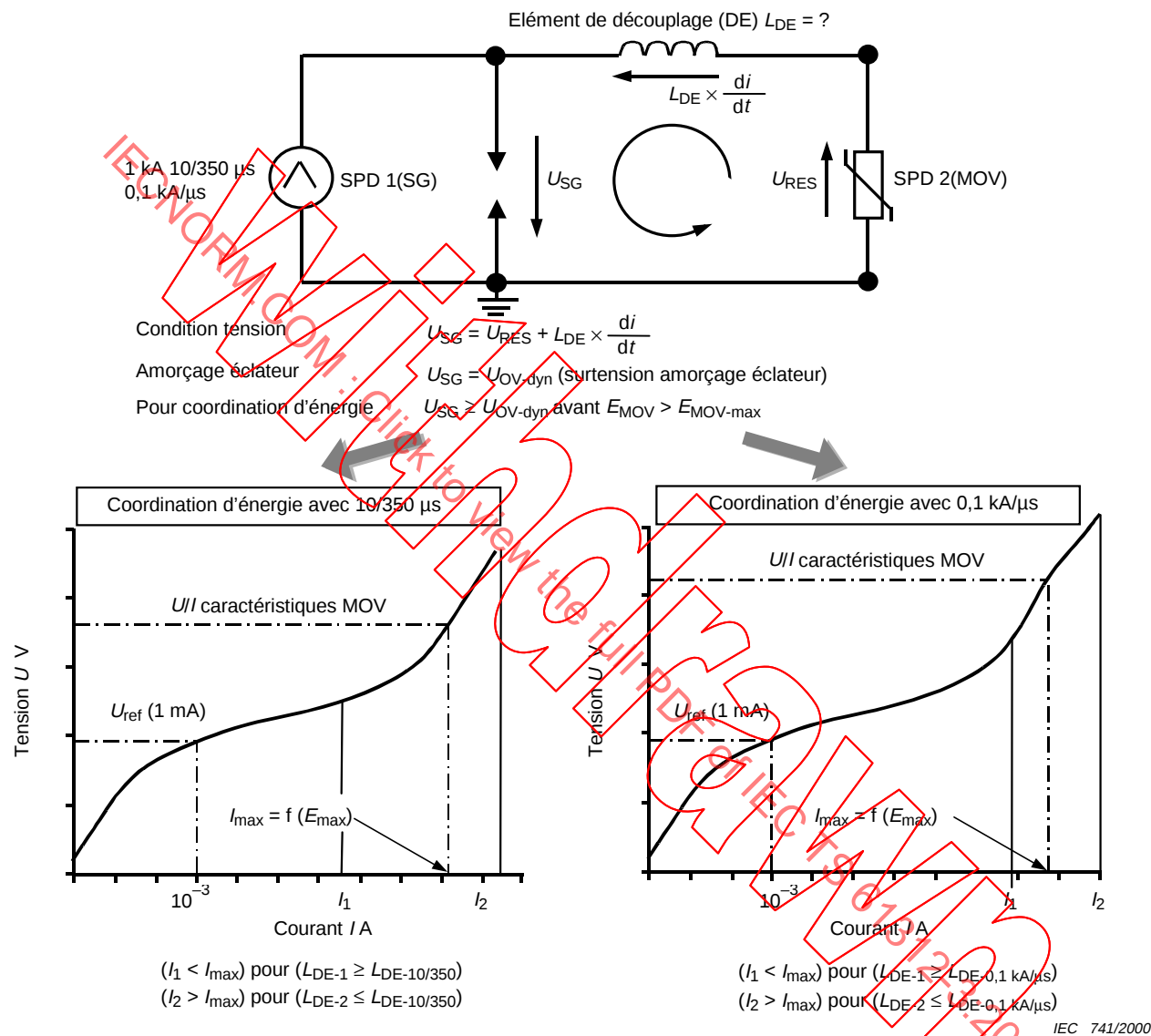
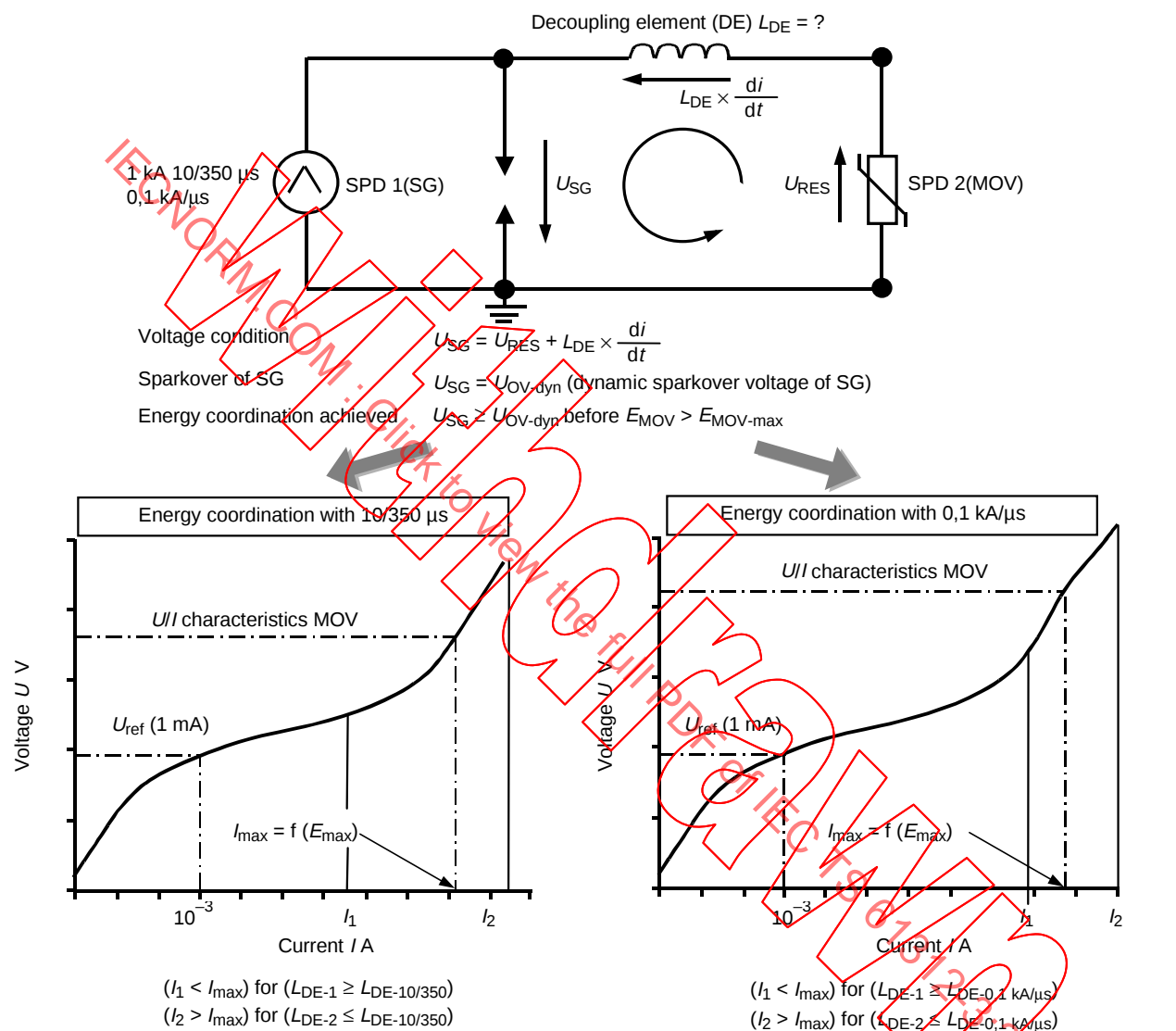


Figure 5b – Basic principle for energy coordination of two SPDs: voltage switching type and voltage limiting type



NOTE I_{max} de MOV pour le cas 10/350 μ s est ou peut être différent de I_{max} pour le cas 0,1 kA/ μ s.

Figure 6a – Principe pour la détermination de l'inductance de découplage pour une coordination énergétique 10/350 μ s et 0,1 kA/ μ s



NOTE MOV's I_{max} for the $10/350 \text{ } \mu\text{s}$ case is or might be different to I_{max} for the $0,1 \text{ kA}/\mu\text{s}$ case.

Figure 6a – Principle determination of decoupling inductance for energy coordination $10/350 \text{ } \mu\text{s}$ and $0,1 \text{ kA}/\mu\text{s}$

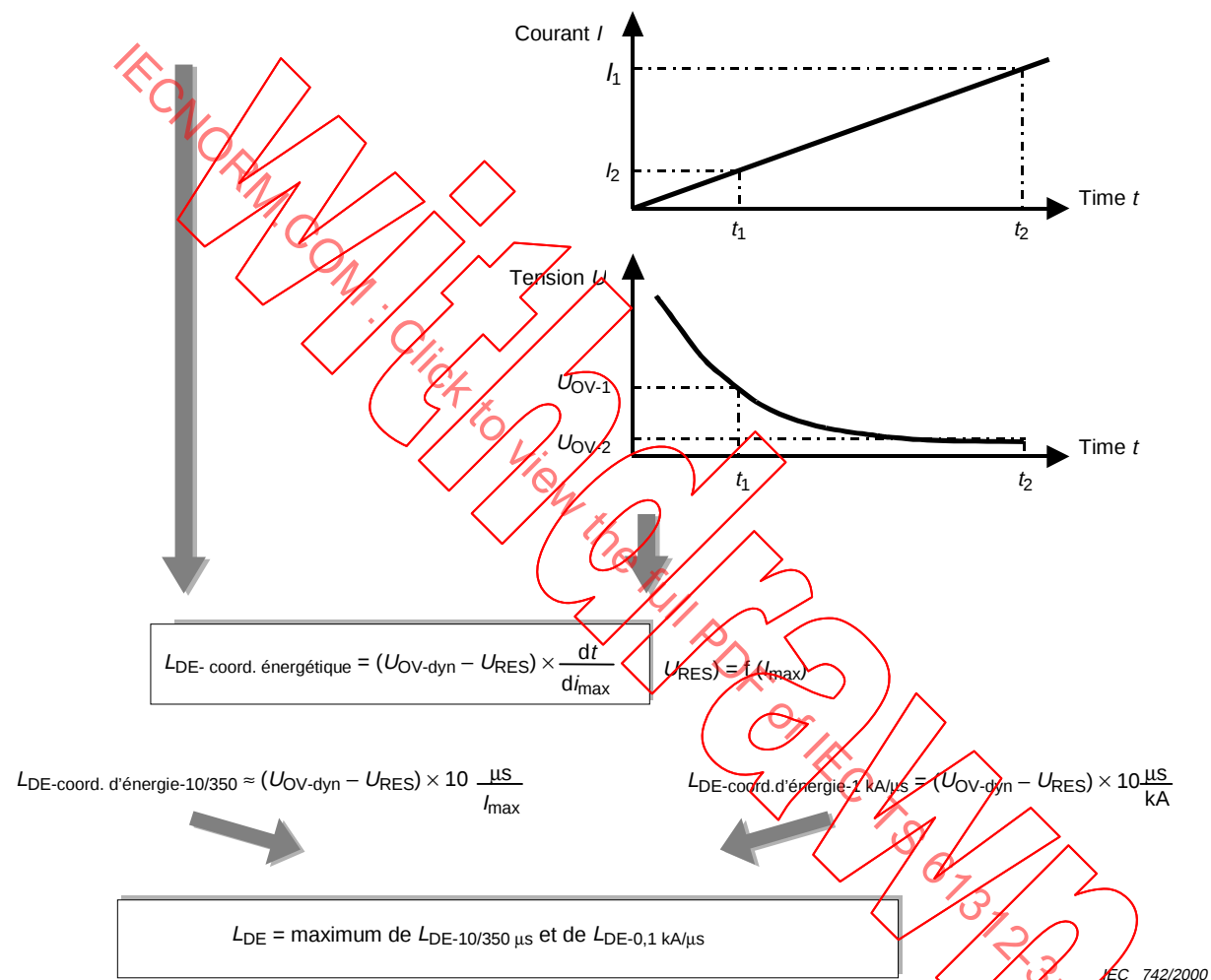


Figure 6b – Principe pour la détermination de l'inductance de découplage pour une coordination énergétique 10/350 μs et 0,1 kA/μs

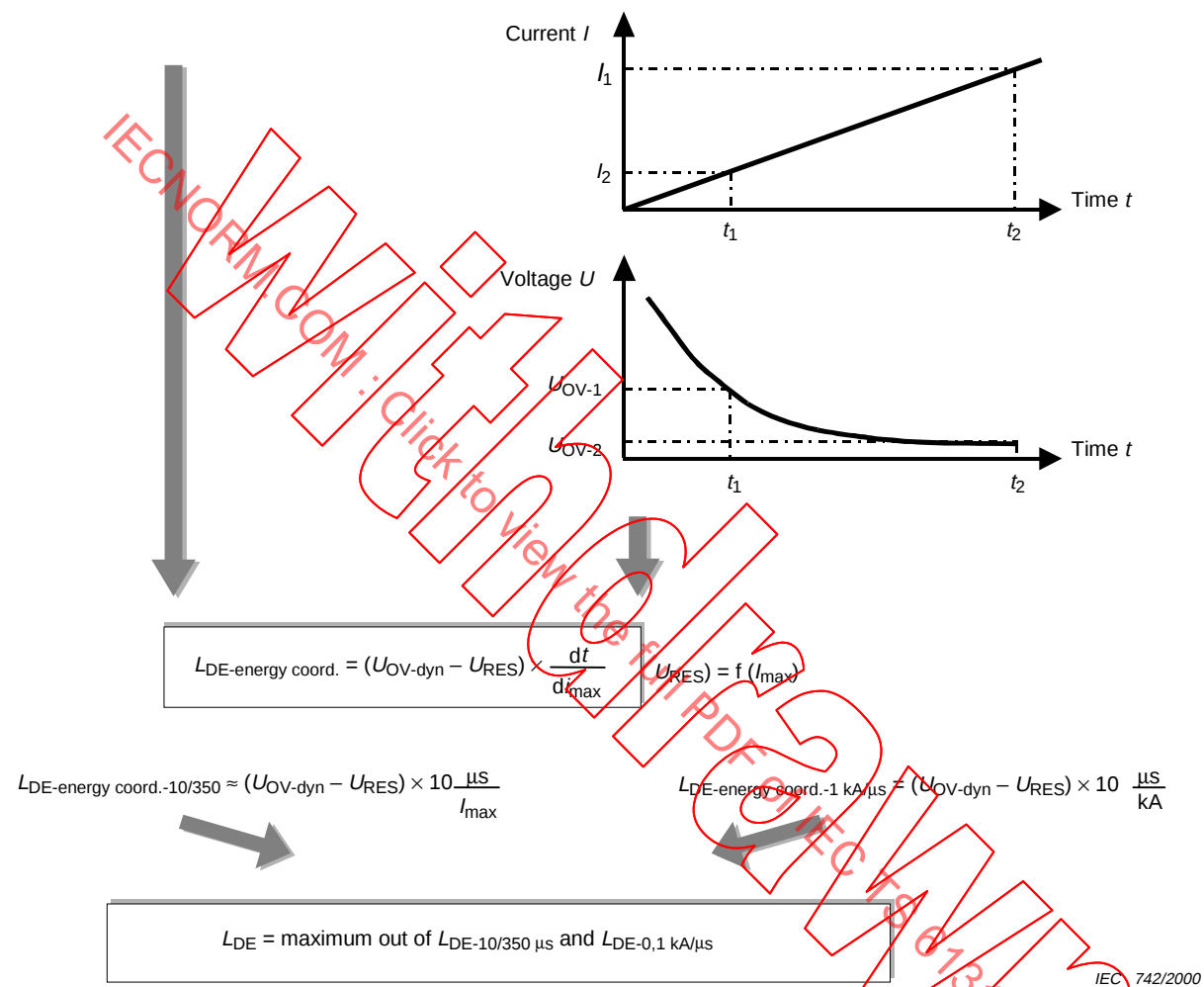


Figure 6b – Principle for the determination of decoupling inductance for energy coordination 10/350 μs and 0,1 kA/ μs

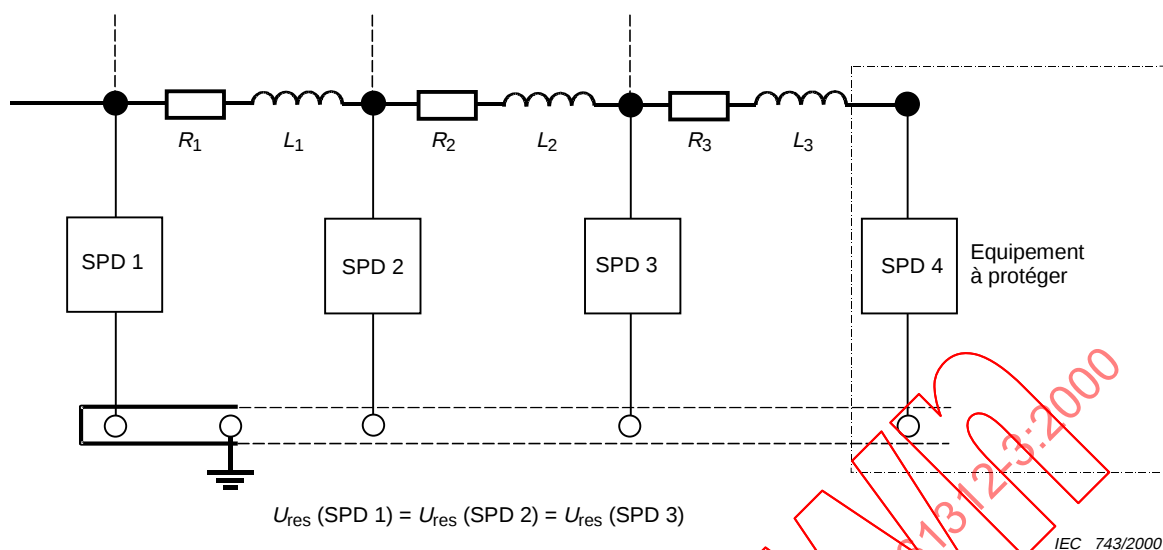


Figure 7 – Principe de coordination selon la variante I (SPD à limitation en tension)

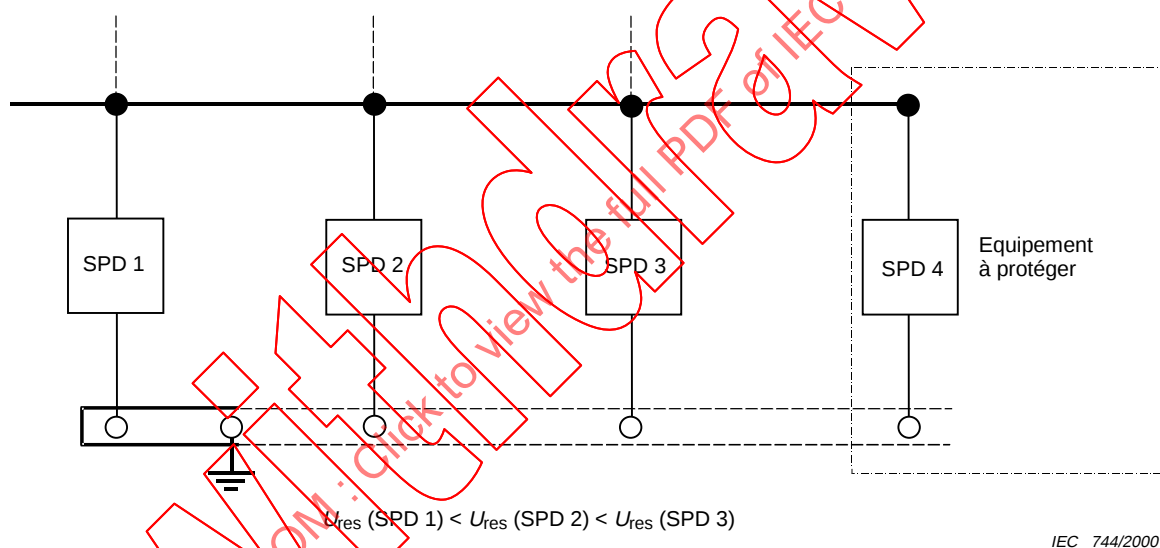


Figure 8 – Principe de coordination selon la variante II (SPD à limitation en tension)

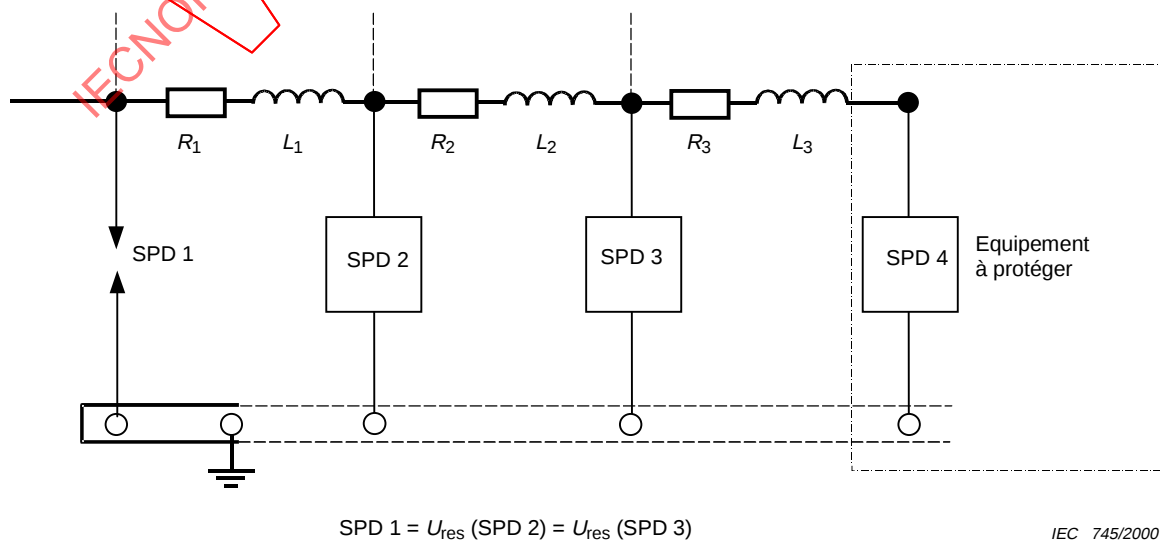


Figure 9 – Principe de coordination selon la variante III
(SPD à coupure de tension/SPD à limitation en tension)

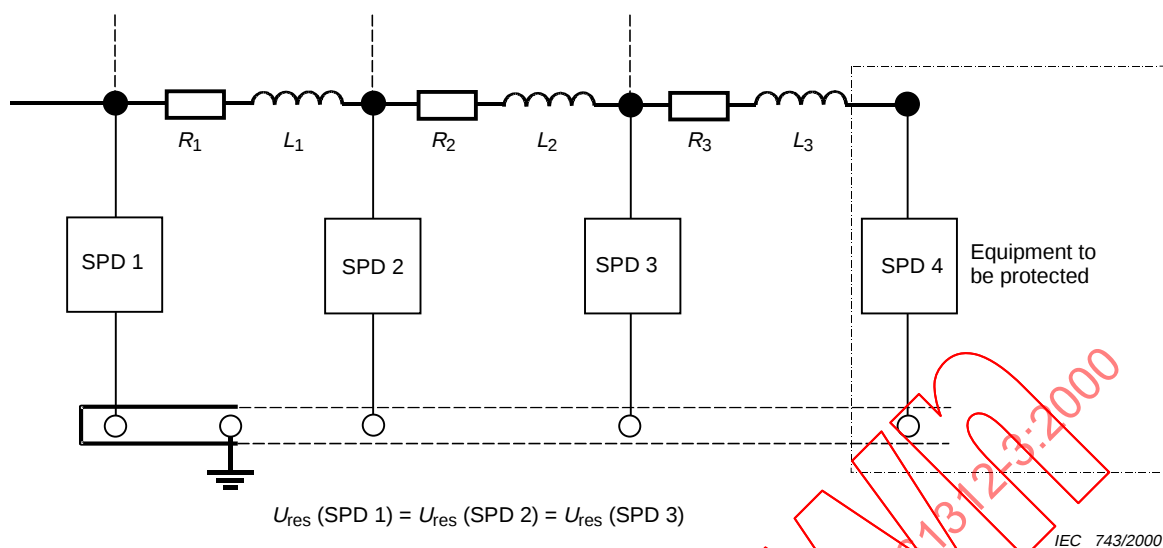


Figure 7 – Coordination principle according to variant I (voltage limiting type SPDs)

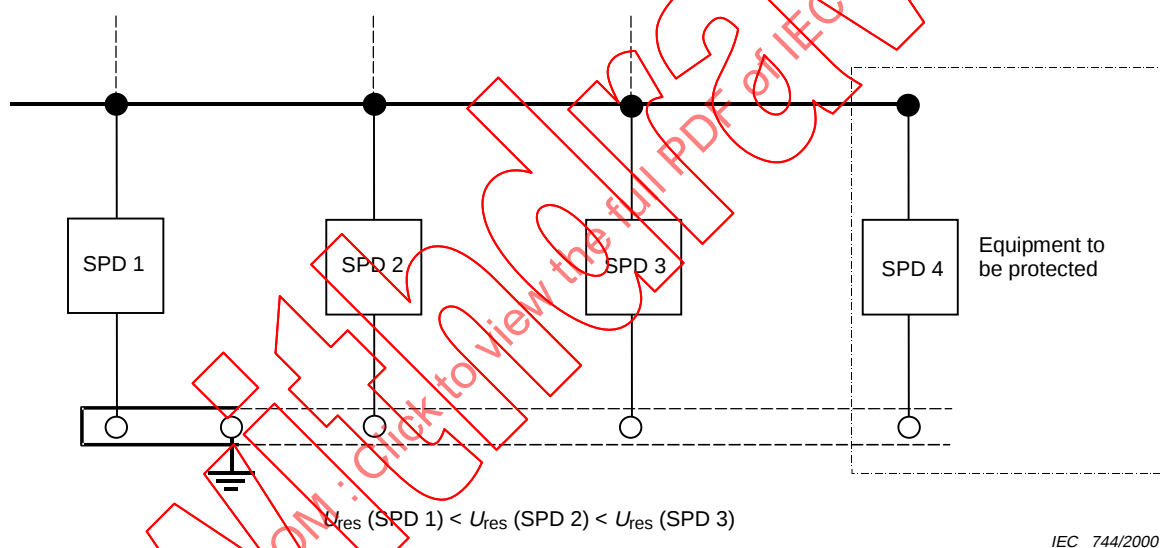


Figure 8 – Coordination principle according to variant II (voltage limiting type SPDs)

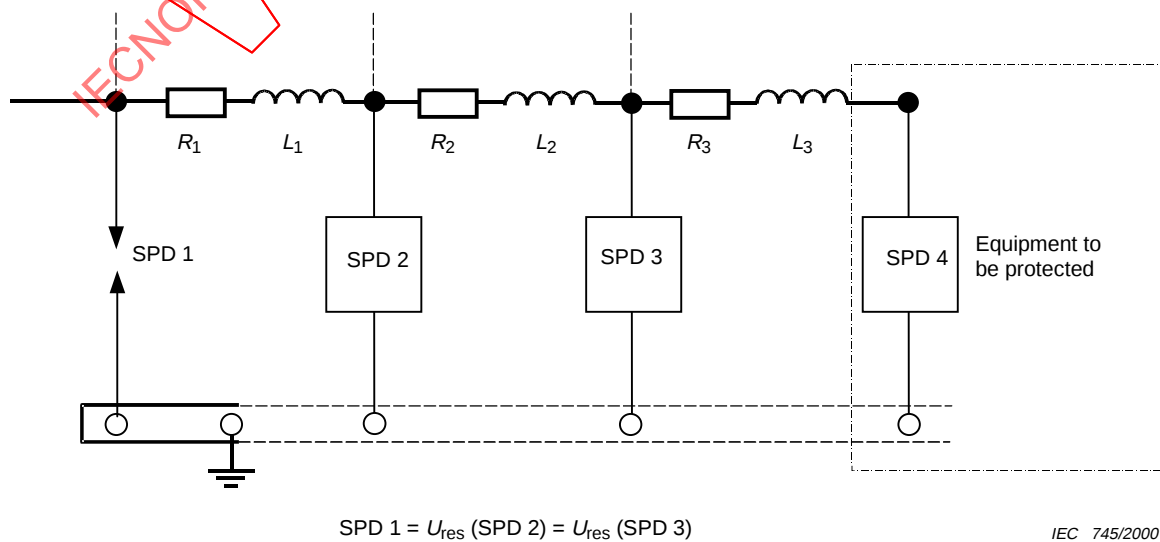


Figure 9 – Coordination principle according to variant III (voltage switching/voltage limiting type SPDs)

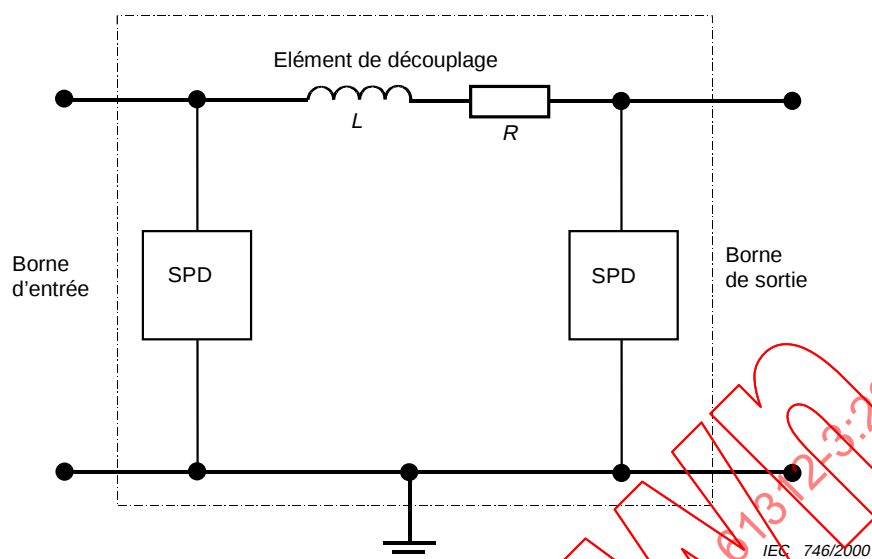


Figure 10 – Principe de coordination selon la variante IV

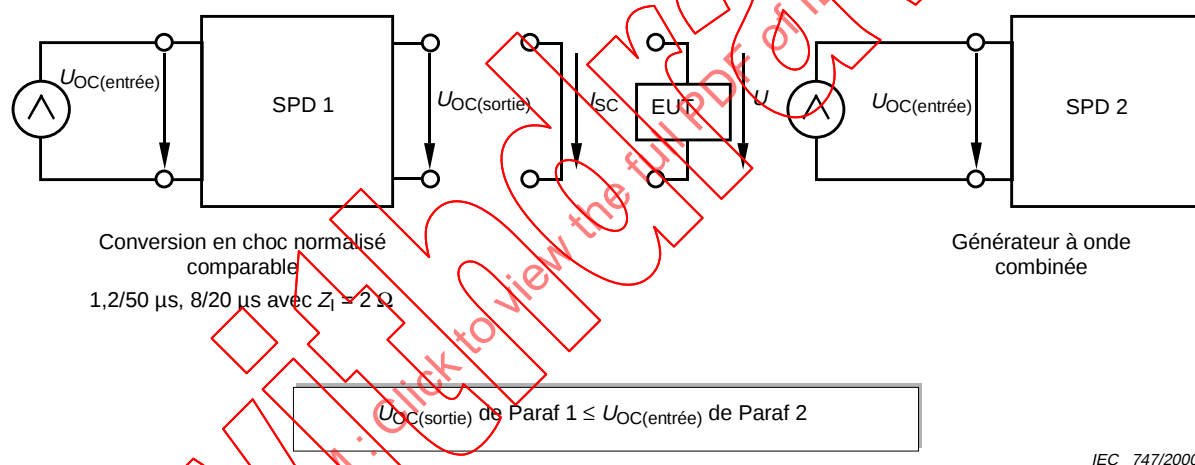


Figure 11 – Energie passante – Méthode de coordination avec les paramètres de choc normalisés

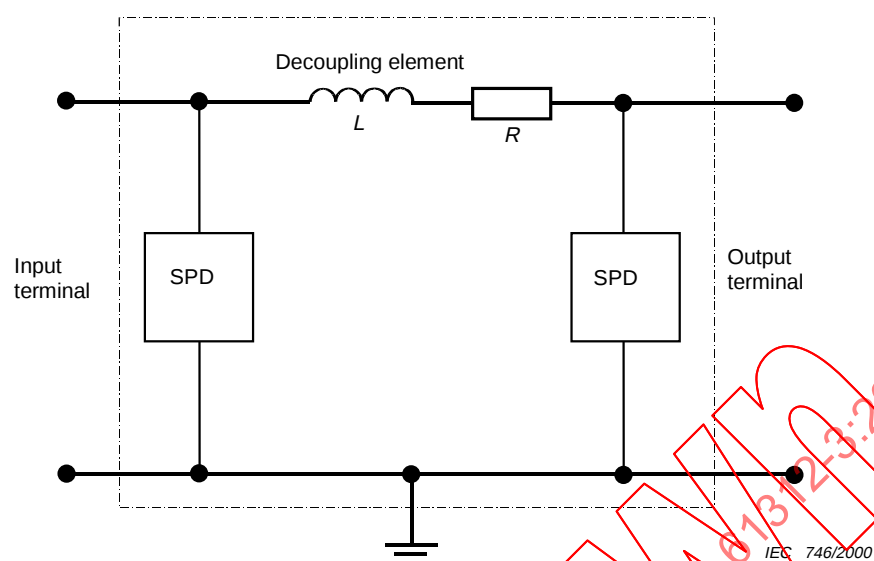


Figure 10 – Coordination principle according to variant IV

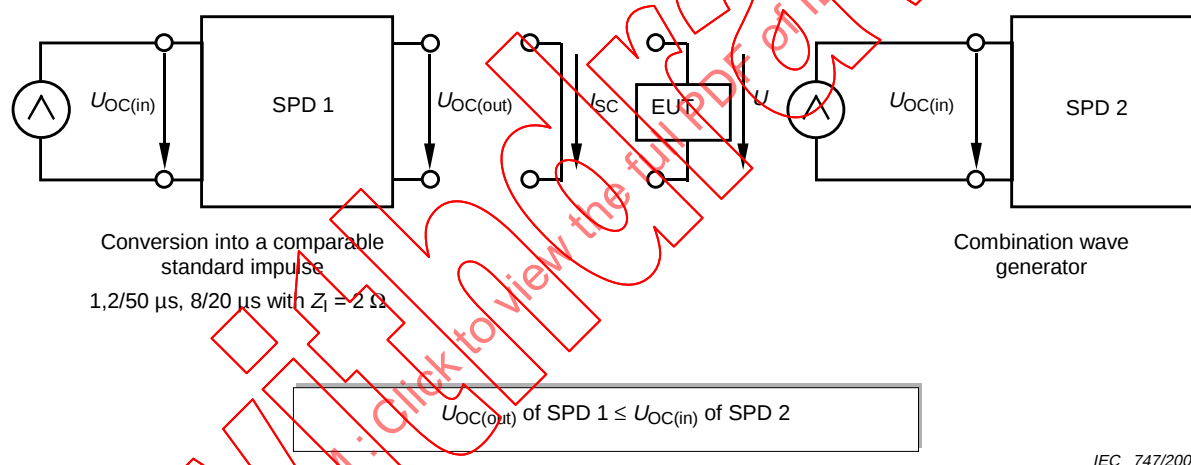


Figure 11 – LTE – Coordination method with standard pulse parameters

Annexe A (informative)

Exemples de coordination entre deux parafoudres

Il est généralement important de considérer les tolérances des parafoudres lors de la coordination.

A.1 Exemple de coordination de deux parafoudres à limitation en tension

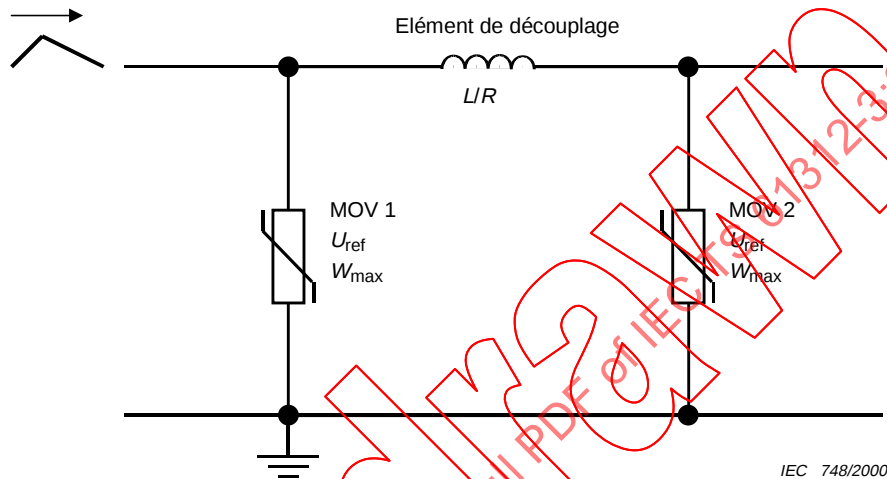
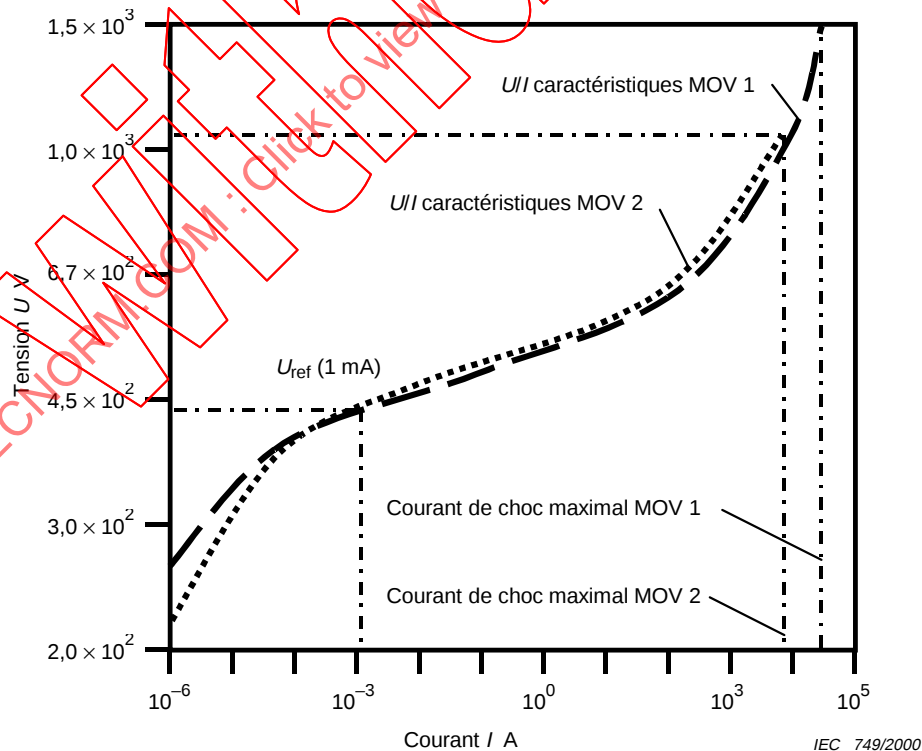


Figure A.1 – Circuit pour la coordination de deux parafoudres de type à limitation en tension



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 A.2 – Caractéristiques courant/tension de deux parafoudres (type à limitation en tension)

Annex A (informative)

Examples for coordination between two SPDs

In general, it is important for coordination purposes to consider the tolerances of SPDs.

A.1 Example of coordination between voltage limiting type SPDs

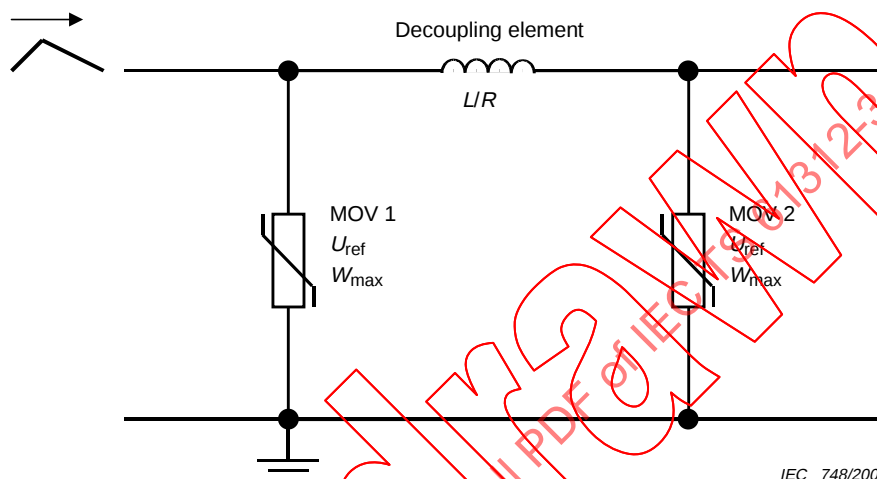
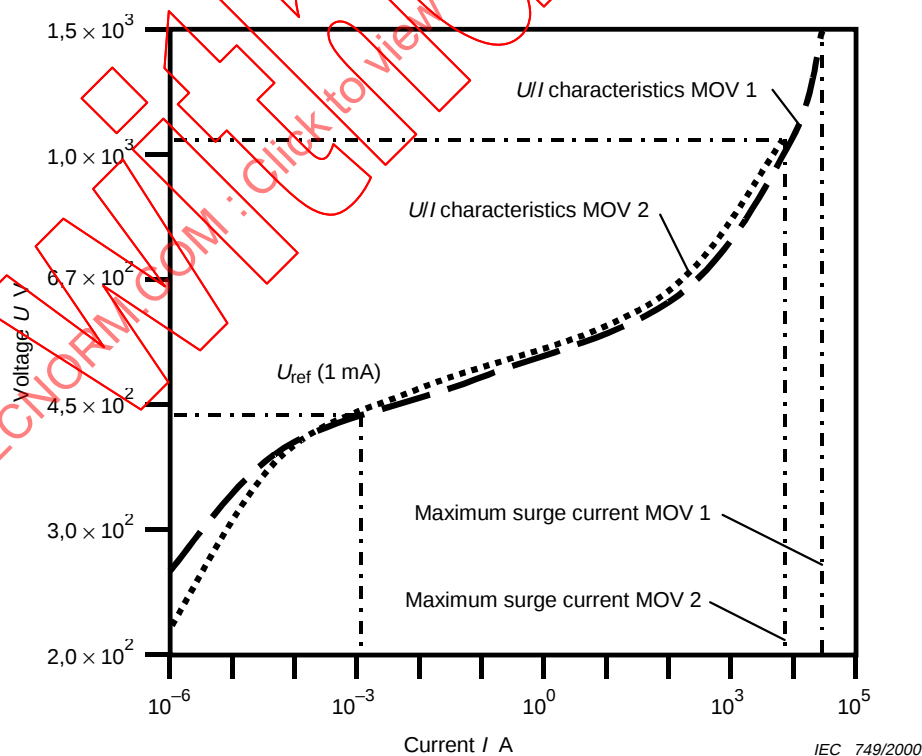


Figure A.1 – Circuit diagram for coordination between two voltage limiting type SPDs



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 A.2 – Current /voltage characteristics of two SPDs (voltage limiting type)

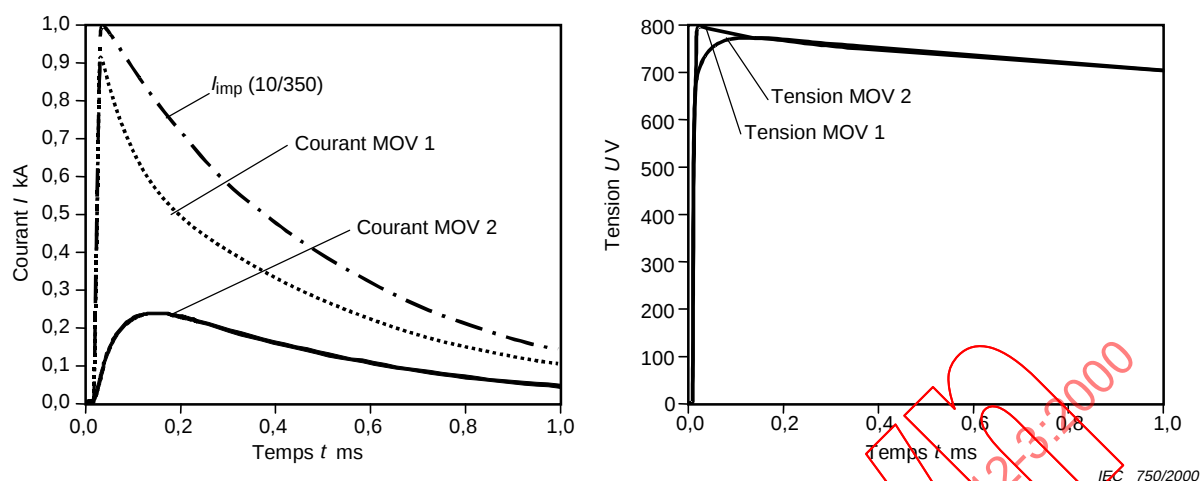


Figure A.3 – Caractéristiques courant/tension de deux parafoudres à limitation en tension

A.2 Exemple de coordination entre deux parafoudres dont l'un est du type coupure en tension et l'autre du type à limitation en tension

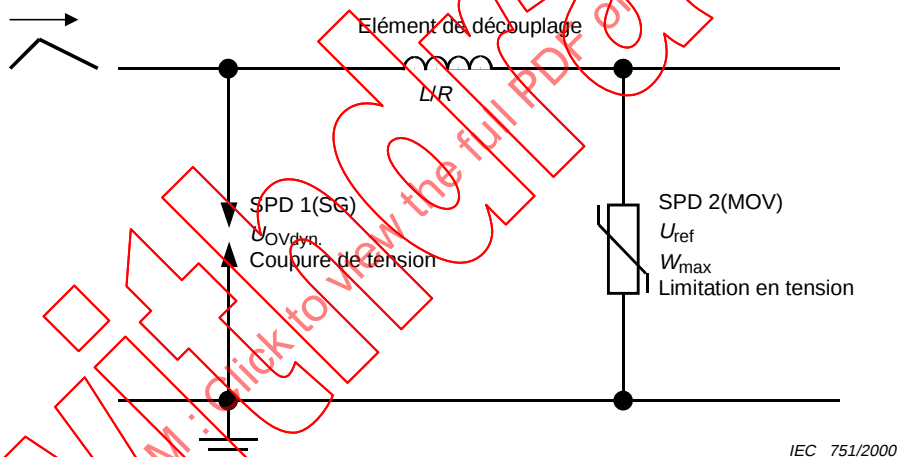


Figure A.4 – Circuit pour la coordination d'un parafoudre SPD 1 du type coupure en tension et d'un parafoudre SPD 2 du type limitation en tension

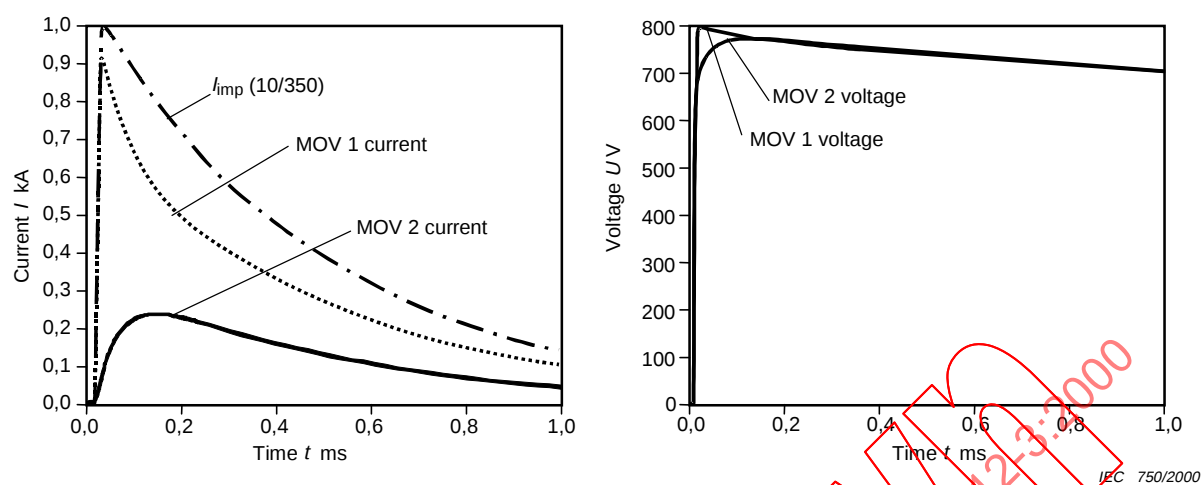


Figure A.3 – Current and voltage characteristics at a combination of two voltage limiting type SPDs

A.2 Example of coordination between voltage switching type SPD and voltage limiting type SPD

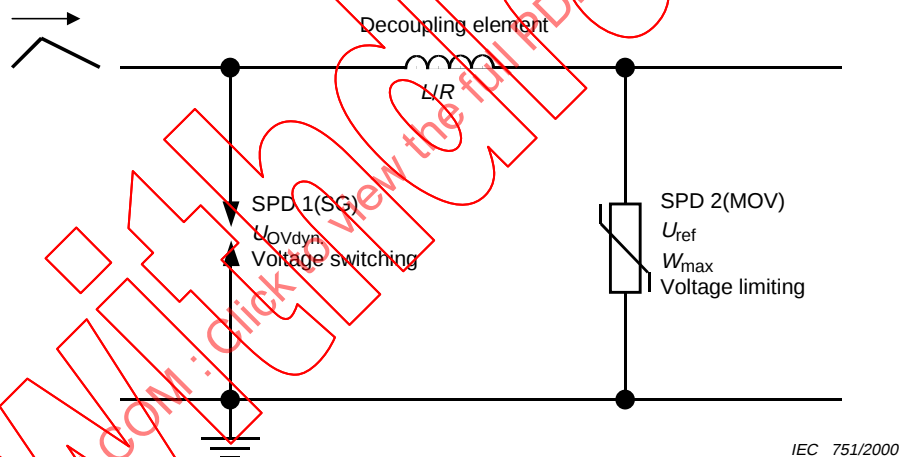


Figure A.4 – Circuit diagram for coordination between voltage switching type SPD 1 and voltage limiting type SPD 2

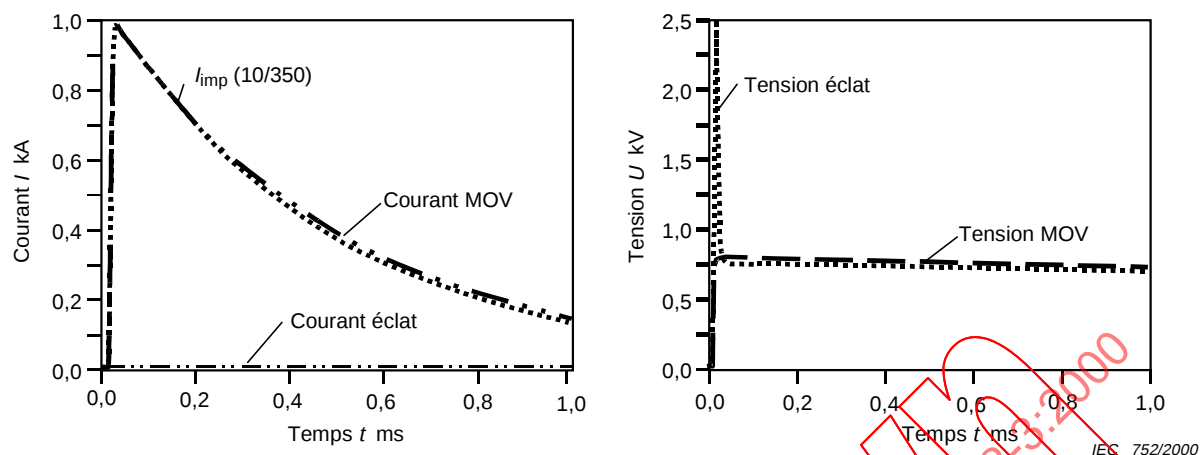


Figure A.5 – Caractéristiques de courant et tension d'une association d'un parafoudre coupure en tension et d'un parafoudre à limitation en tension – Pas d'amorçage de l'éclateur SPD 1

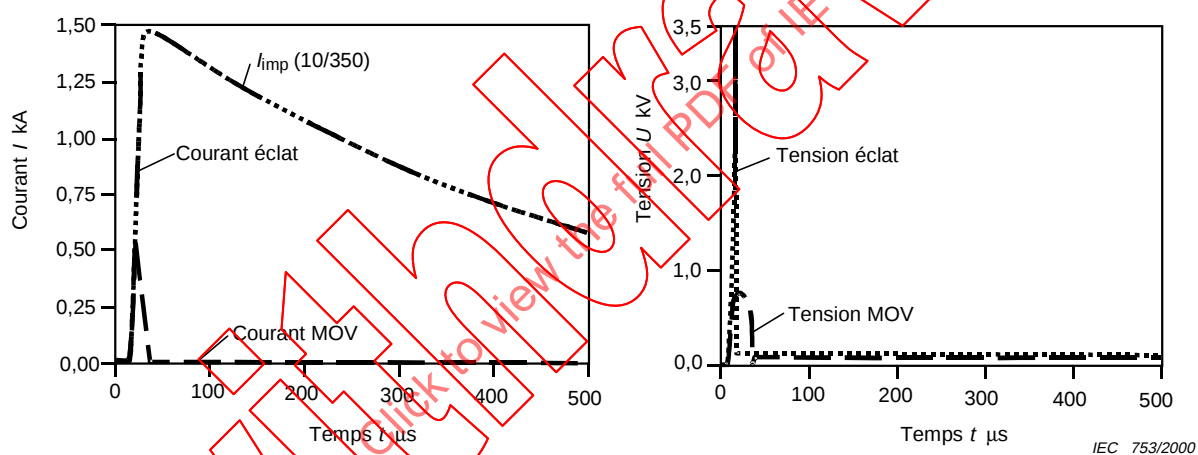


Figure A.6 – Caractéristiques de courant et tension d'une association d'un parafoudre coupure en tension et d'un parafoudre à limitation en tension – Amorçage de l'éclateur SPD 1

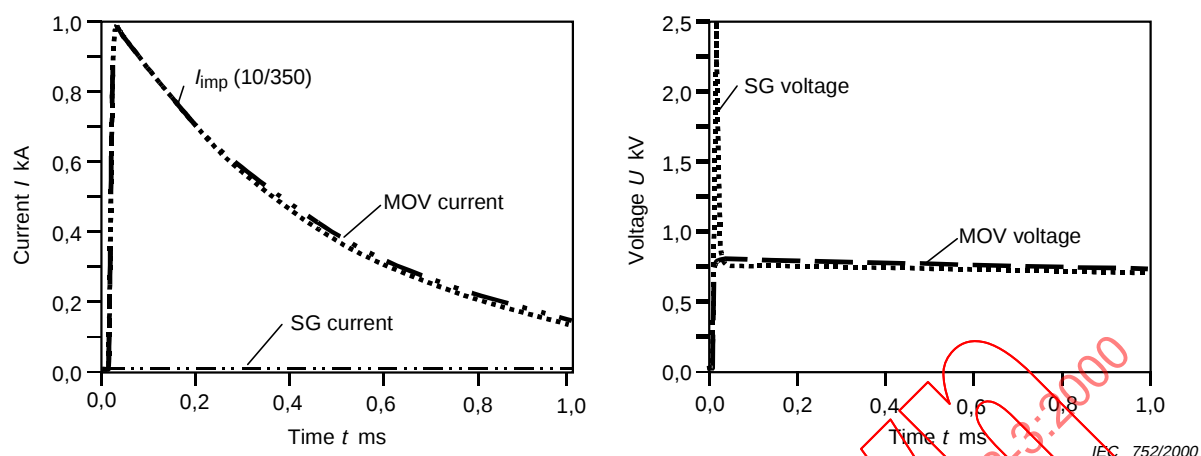


Figure A.5 – Current and voltage characteristics at a combination of a SPD voltage switching type and a SPD voltage limiting type: SPD 1 not ignited

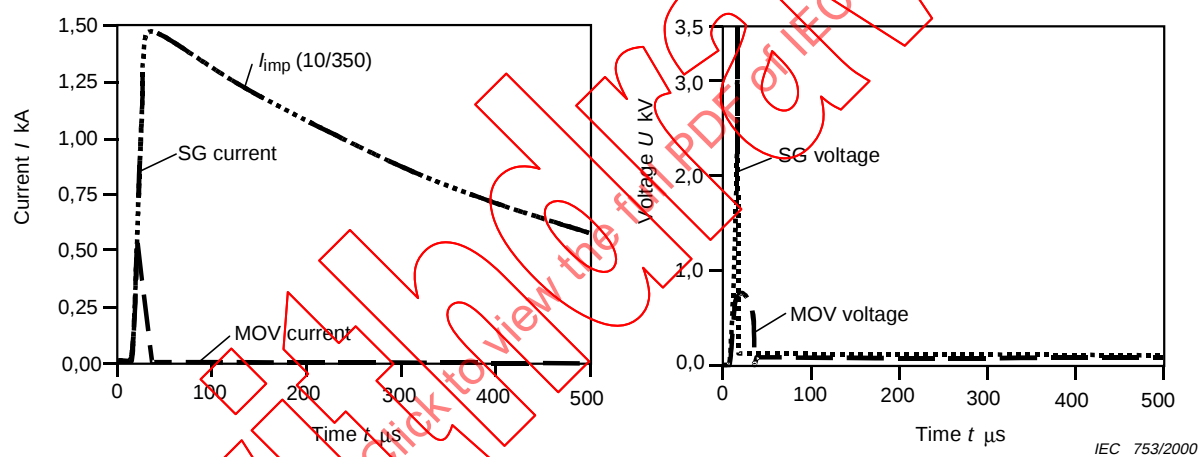


Figure A.6 – Current and voltage characteristics at a combination of a SPD voltage switching type and a SPD voltage limiting type: SPD 1 ignited

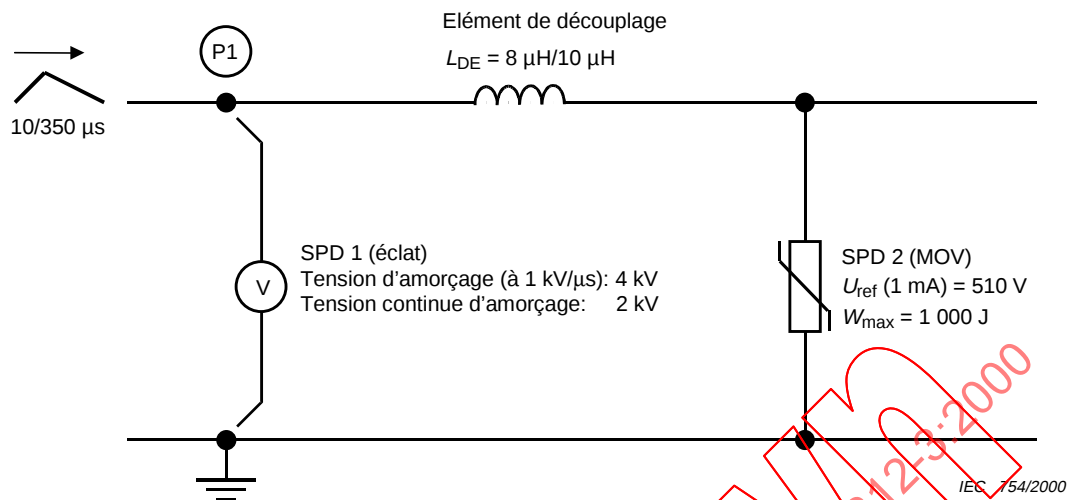


Figure A.7a – Circuit pour la coordination

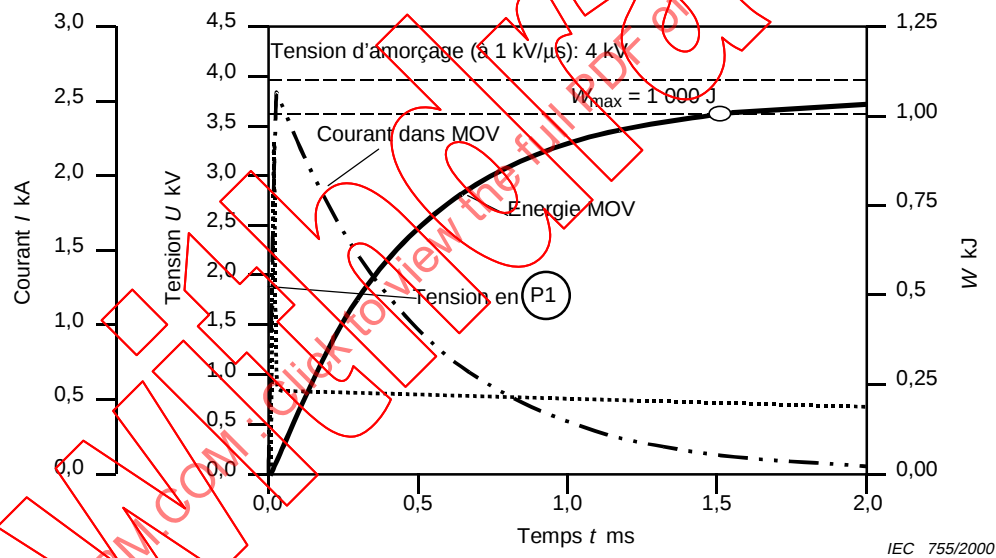


Figure A.7b – Caractéristiques courant/tension/énergie pour $L_{DE} = 8 \mu\text{H}$:
Pas de coordination d'énergie – 10/350 μs

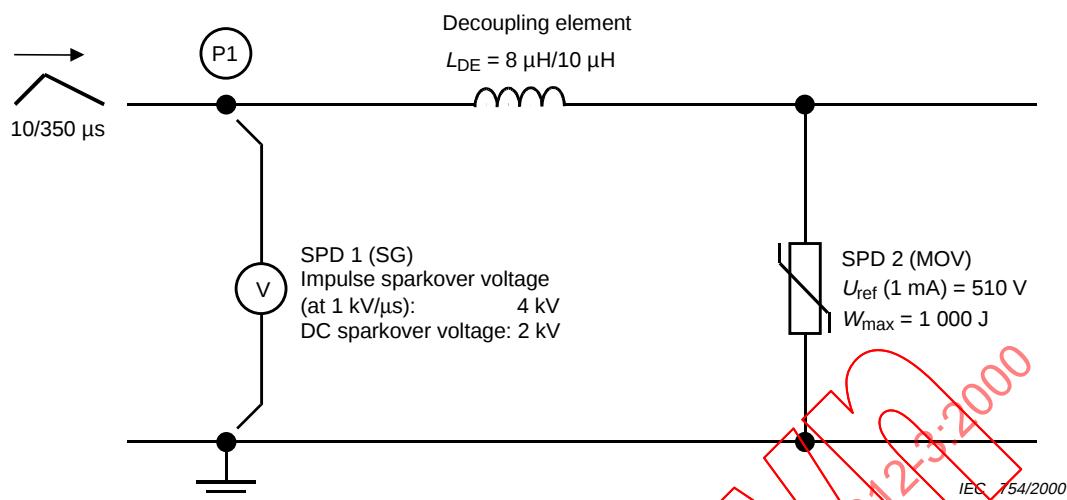


Figure A.7a – Circuit diagram

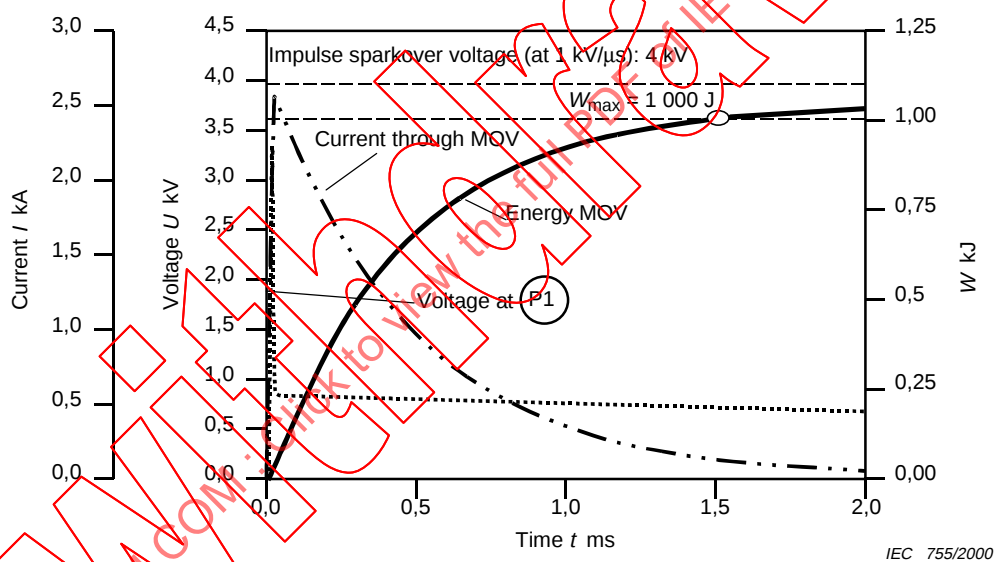


Figure A.7b – Current/voltage/energy characteristics for $L_{DE} = 8 \mu\text{H}$:
No energy coordination – 10/350 μs

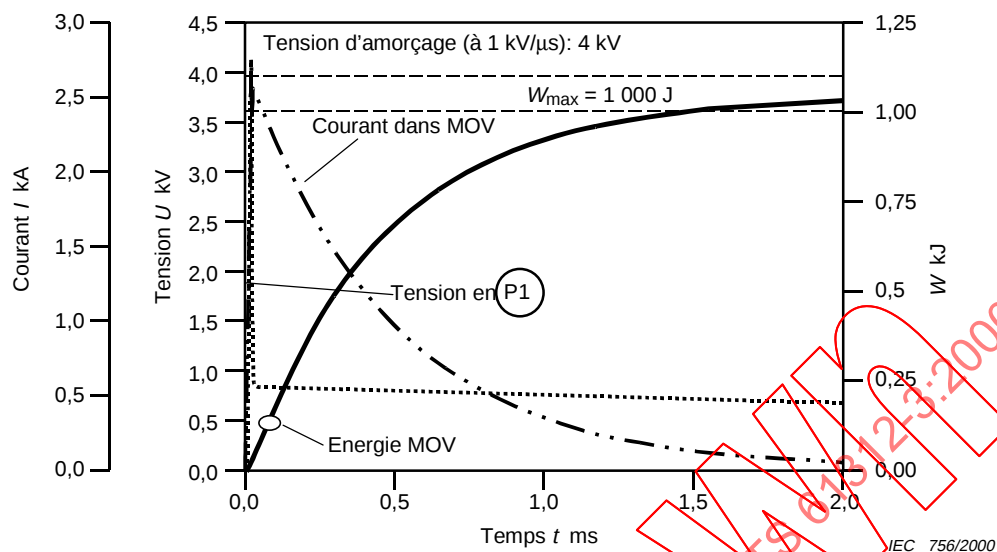


Figure A.7c – Caractéristiques courant/tension/énergie pour $L_{DE} = 10 \mu H$:
Coordination d'énergie – 10/350 μs

Figure A.7 – Exemple de coordination d'énergie entre le parafoudre SPD 1 du type coupure de tension et du parafoudre SPD 2 du type à limitation en tension pour 10/350 μs

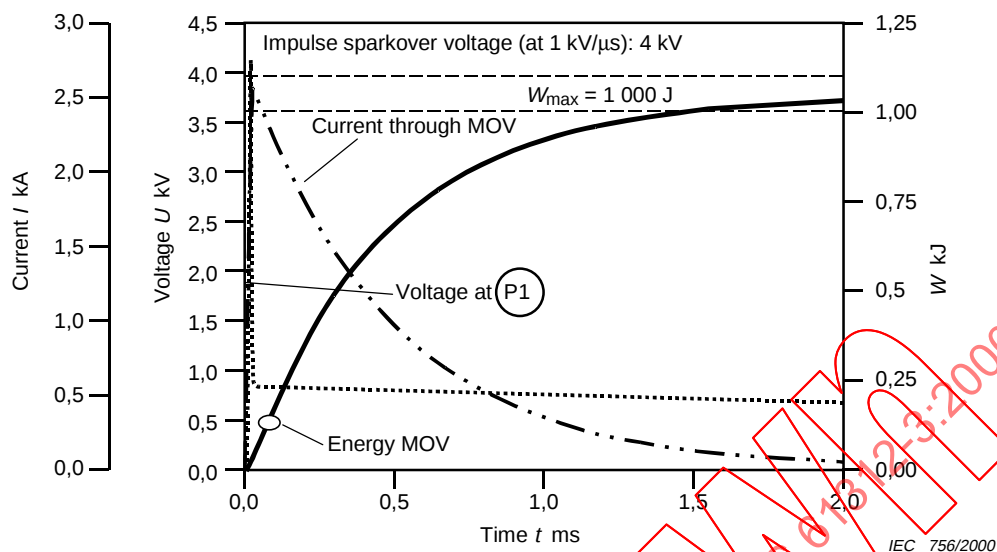


Figure A.7c – Current/voltage/energy characteristics for $L_{DE} = 10 \mu\text{H}$:
Energy coordination – 10/350 μs .

Figure A.7 – Example of energy coordination between voltage switching type SPD 1
and voltage limiting type SPD 2 for 10/350 μs

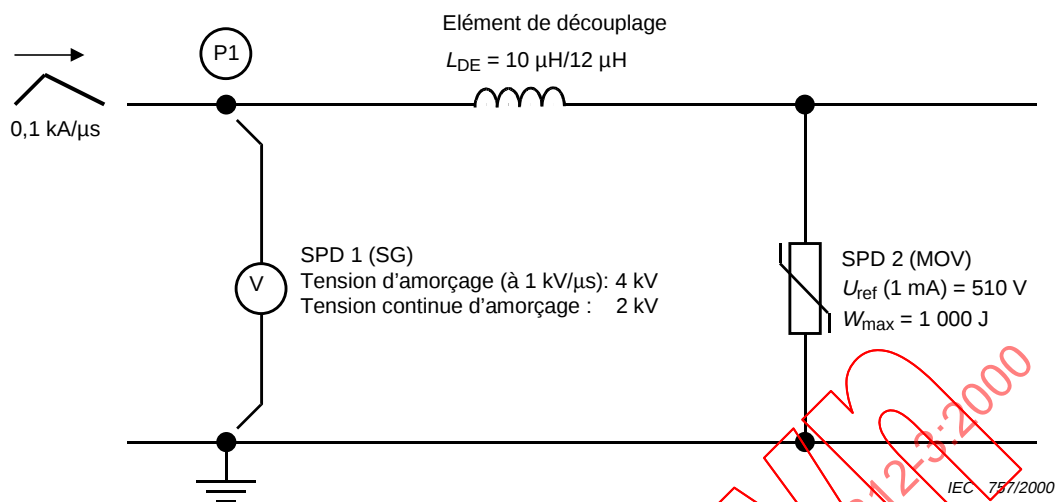


Figure A.8a – Circuit pour la coordination

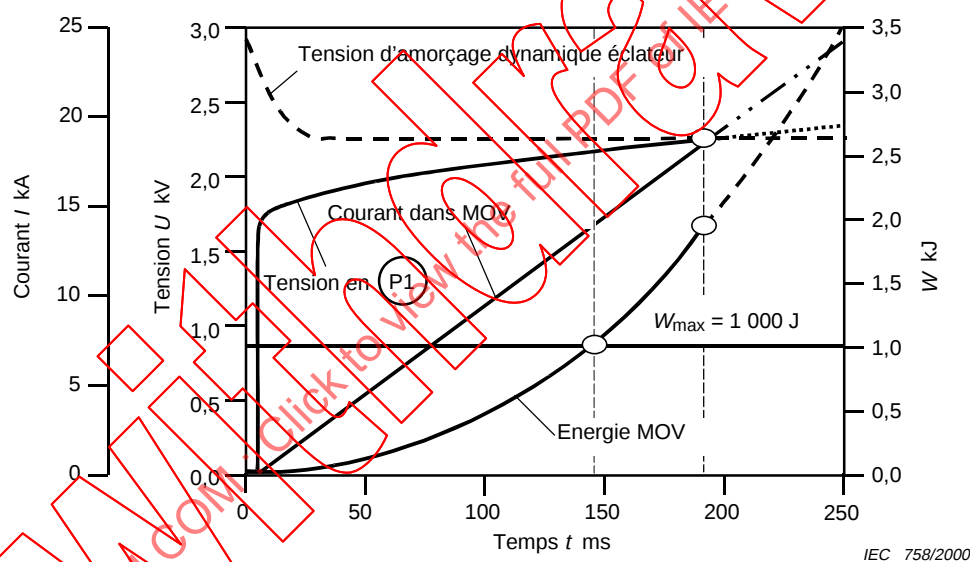


Figure A.8b – Caractéristiques courant/tension/énergie pour $L_{DE} = 10 \mu\text{H}$:
Pas de coordination d'énergie – $0,1 \text{ kA}/\mu\text{s}$

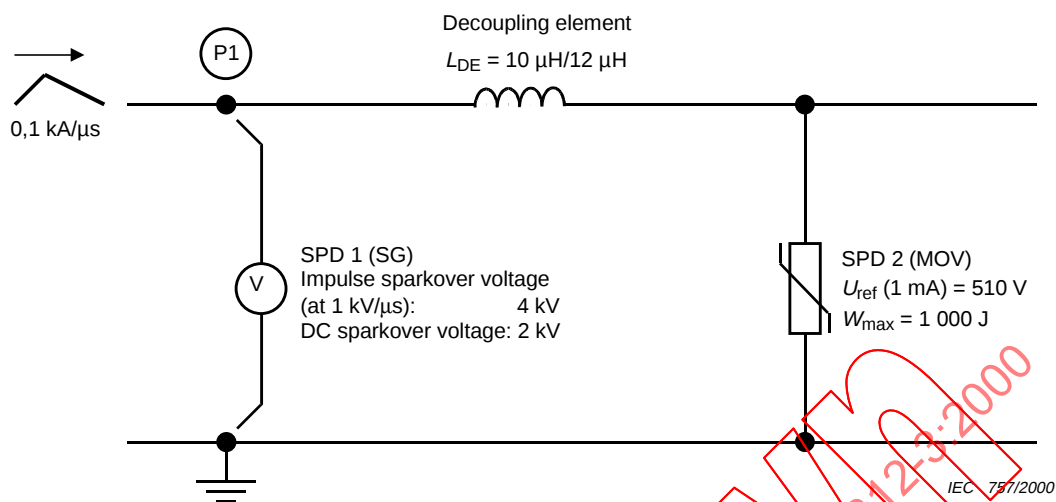


Figure A.8a – Circuit diagram

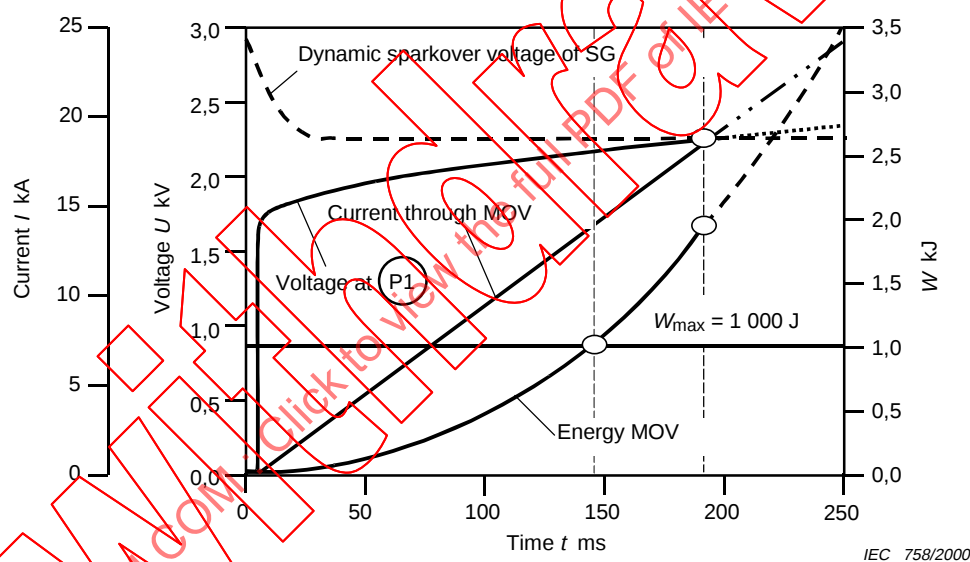


Figure A.8b – Current/voltage/energy characteristics for $L_{DE} = 10 \mu\text{H}$:
 No energy coordination – 0,1 kA/ μs

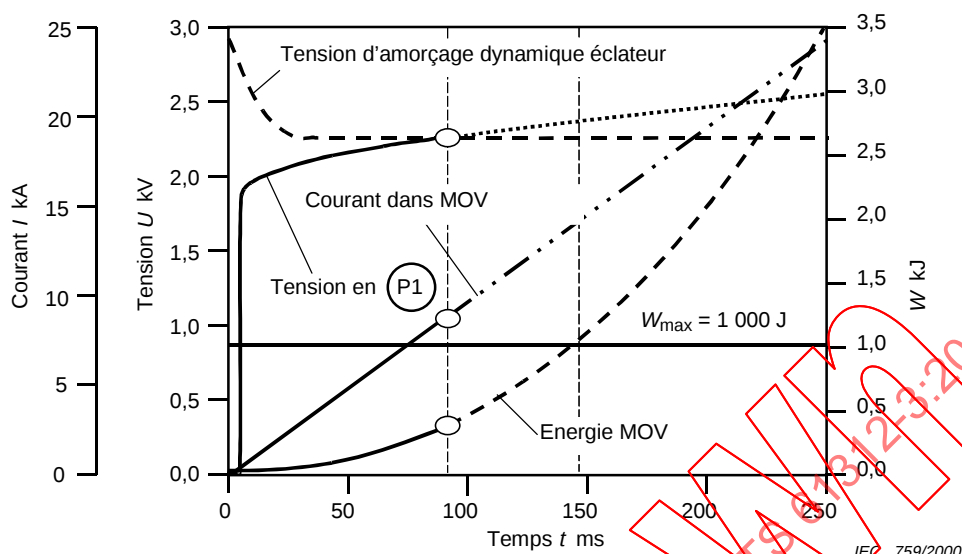


Figure A.8c – Caractéristiques courant/tension/énergie pour $L_{DE} = 12 \mu H$:
Coordination d'énergie – $0,1 \text{ kA}/\mu s$

Figure A.8 – Exemple de coordination d'énergie entre le parafoudre SPD 1 du type coupure de tension et du parafoudre SPD 2 du type à limitation en tension pour $0,1 \text{ kA}/\mu s$

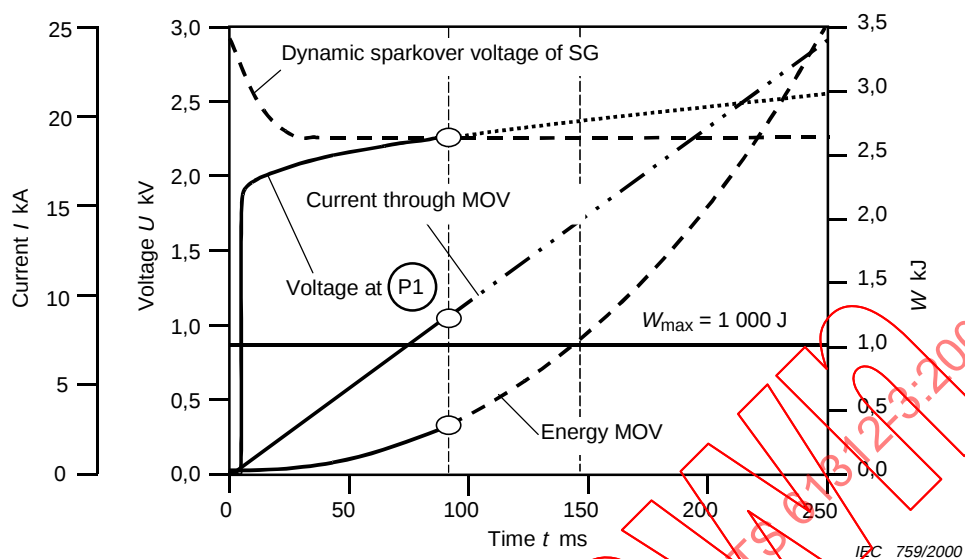


Figure A.8c – Current/voltage/energy characteristics for $L_{DE} = 12 \mu\text{H}$:
Energy coordination – $0.1 \text{ kA}/\mu\text{s}$

Figure A.8 – Example of energy coordination between voltage switching type SPD 1
and voltage limiting type SPD 2 for $0.1 \text{ kA}/\mu\text{s}$

Annexe B (informative)

Facteurs d'influence de la distribution du courant de foudre dans un système à protéger

B.1 Influence de la distribution du courant de foudre dans le réseau basse tension

A partir des menaces primaires définies dans la CEI 61312-1, les paragraphes suivants démontrent les relations essentielles entre différents facteurs de distribution du courant de foudre dans un système à protéger. Pour cela, un exemple généralement valable est défini (voir figure B.1). Pour une telle disposition globale, les effets des facteurs d'influence peuvent être illustrés de façon basique. La figure B.2 montre le schéma équivalent utilisé pour le calcul.

NOTE Les calculs nécessaires seront effectués par programmes d'analyse du réseau (par exemple PSPICE, EMTP).

Les modèles partiels utilisés pour les câbles, prises de terre, transformateurs, etc. satisfont à l'état de la technologie dans ce champ. Le modèle choisi présente la précision nécessaire pour la coordination choisie. Toutes les valeurs d'impédance des éléments utilisés dans cette simulation sont supposées être les valeurs typiques. Pour des raisons de calculs, la longueur des câbles d'alimentation est prise égale à 50 m, 500 m et 1000 m. Pour des cas particuliers, ces longueurs peuvent être différentes. La simulation donne un exemple de protection contre les surtensions dans des réseaux complexes.

Dans les calculs des exemples, toutes les capacités ont été négligées. Si les capacités concernées avaient été prises en compte, des oscillations auraient été observées sur les relevés. Toutefois, ces oscillations présentent une importance pratique mineure dans cette étude dans laquelle la dispersion du courant dans les divers conducteurs est essentielle.

B.1.1 Influence des câbles d'alimentation

B.1.1.1 Influence de la longueur des câbles d'alimentation sur les caractéristiques de temps de l'écoulement partiel du courant de foudre dans les lignes de puissance

La figure B.3 montre les influences principales des longues lignes de transmission sur la distribution du courant de foudre dans le réseau et les effets sur le temps de montée de ces courants dans les lignes de puissance. On suppose que le courant de foudre est pris égal à un courant de choc de 200 kA, 10/350 µs dans tous les cas.

NOTE 1 Des valeurs croissantes de R_{ET} et R_{ES} ($\geq 20 \Omega$) conduisent à une distribution plus symétrique du courant dans le réseau de terre et dans le réseau de distribution de puissance.

Dans ce cas simplifié, la résistance à la terre des canalisations d'eau et de communication est négligée.

Le temps de montée du courant de foudre dans les lignes de puissance ($T_{1/\text{réseau}}$) augmente en raison de la longueur des câbles selon le rapport L/R du réseau:

$$T_{1/\text{réseau de puissance}} \sim \frac{L_{\text{distrib}}/R_{\text{distrib}}}{L_{\text{terre}}/R_{\text{terre}}} \quad (\text{B.1})$$

NOTE 2 Dans ce contexte, il est important de distinguer T_1 et le taux de montée, T_1 variant avec L/R . Le taux de montée varie aussi avec $I_{\text{crête}}$ du courant de choc qui croît ou décroît.

Lors du début de choc, la distribution de courant est déterminée par les impédances inductives du réseau $L_{\text{distrib}}/L_{\text{terre}}$. En raison de la faible variation du courant entre front et queue de choc, le courant de choc est distribué selon les conditions du réseau:

$$\frac{I_{\text{terre}}}{I_{\text{distrib}}} \sim \frac{R_{\text{distrib}}}{R_{\text{terre}}} \quad (\text{B.2})$$

Annex B (informative)

Influencing factors on the lightning current distribution in a system to be protected

B.1 Influencing the lightning current distribution in the low-voltage system

Starting from the primarily relevant threats defined in IEC 61312-1, the following sections show fundamental relations between different influencing factors on the lightning current distribution in a system to be protected. For this purpose, a generally valid example will be defined (figure B.1). For such an overall arrangement, the effects of the influencing factors can be basically illustrated. Figure B.2 shows the equivalent circuit diagram used for the calculation.

NOTE The necessary calculations for these examinations will be carried out by means of network analysing programs (for example, PSPICE; EMTP).

The partial models of cables, earth electrodes, transformers etc. used meet the state of engineering in this field. The chosen modelling is oriented at the necessary accuracy for the concerns of arrester coordination described herein. All values for impedance of the elements used in these simulations are assumed as typical values. For demonstration purposes, the length of the supplying cable was taken at 50 m, 500 m and 1 000 m. In special cases, these values might be different to the ones used in these simulations. The simulations give an example of overvoltage protection within a complex system.

In the computations for the examples, all capacitances are neglected. If the capacitances involved were included, some oscillations would be seen on the oscillograms. However, these oscillations are of minor practical importance for this study, in which the current dispersion among the various conductors is the main issue.

B.1.1 Influence of supplying cables

B.1.1.1 Influence of the supplying cable length on the time characteristics of the partial lightning current flowing in power lines

Figure B.3 shows the principal influences of long transmission lines on the lightning current distribution within the system and effects on the rate of rise of partial lightning currents in power lines. The lightning current is assumed to be an impressed surge current of 200 kA 10/350 µs for all the cases examined.

NOTE 1 Increasing the values for R_{ET} and R_{ES} ($\geq 20 \Omega$) leads to a more symmetric current distribution among the earthing system and the power distribution system.

In this simplified test circuit earth resistances of water pipe and telephone are neglected.

The front time of the lightning current in the power lines ($T_{1/\text{power system}}$) increases due to long cables depending on the L/R ratio in the system:

$$T_{1/\text{power system}} \sim \frac{L_{\text{mains}}/R_{\text{mains}}}{L_{\text{earthing system}}/R_{\text{earthing system}}} \quad (\text{B.1})$$

NOTE 2 In this context, it is important to distinguish between T_1 and rate of rise T_1 changes with different L/R . The rate of rise changes additionally with increasing or decreasing I_{peak} of the surge current.

In the initial phase of the impulse current, the current distribution is determined by the inductive impedances of the system $L_{\text{mains}}/L_{\text{earthing system}}$. Due to the low rate of current change in the tail of the impulse, the surge current will be distributed according to the conditions of the system:

$$\frac{I_{\text{earthing systems}}}{I_{\text{mains}}} \sim \frac{R_{\text{mains}}}{R_{\text{earthing system}}} \quad (\text{B.2})$$

B.1.1.2 Influence de la longueur des câbles d'alimentation sur la distribution de courant dans les conducteurs

Si la longueur du câble d'alimentation entre le transformateur et le système alimenté augmente, l'influence de l'impédance du transformateur diminue. Ainsi, un équilibre des courants partiels dans les conducteurs se réalise (voir figure B.4).

Une distribution déséquilibrée entre L1, L2, L3 et N ne peut apparaître que pour une longueur faible des câbles ou pour un conducteur neutre présentant une très faible impédance (par exemple mis fréquemment à la terre).

La figure B.5 montre la distribution de courant dans un tel réseau.

B.1.2 Influence du transformateur

Comme indiqué en B.1.1.2, l'influence de l'impédance du transformateur sur la distribution de courant dépend de la longueur du câble.

De plus, il faut prendre en compte les surtensions se produisant au niveau des enroulements du transformateur dues à des surtensions de choc. Pour éviter des dommages, ces surtensions peuvent être limitées par des parafoudres mis en œuvre sur le transformateur. Si ces parafoudres fonctionnent, l'influence de l'impédance effective du transformateur est négligeable.

B.1.3 Influence du réseau de terre

Le rapport entre la valeur résistive de la prise de terre du transformateur et de la prise de terre de l'utilisateur est essentiel pour la distribution du courant de foudre.

Une diminution de la valeur de la prise de terre du transformateur entraîne une augmentation de courant dans le réseau basse tension (voir figure B.6).

B.1.4 Influence d'utilisateurs en parallèle

Le cas le plus fréquent est l'existence d'utilisateurs en parallèle. La figure B.7 montre le schéma de base fondamental. La diminution de l'impédance des réseaux des utilisateurs en parallèle entraîne une augmentation des courants de foudre partiels dans les réseaux basse tension. Comme indiqué à la figure B.8, la partie du courant de foudre s'écoulant dans le réseau basse tension sera de 50 % pour un seul bâtiment. Cette partie atteint 70 % ou plus dans le cas d'utilisateurs en parallèle.

Dans des zones maillées, des courants de foudre importants s'écoulent dans le réseau basse tension.

B.1.5 Méthode de calcul simplifiée

Pour déterminer la distribution du courant dans les parafoudres en cas de coup de foudre direct sur une structure équipée d'un paratonnerre, il est généralement suffisant d'utiliser la résistance ohmique des prises de terre, par exemple prise de terre du bâtiment, des canalisations, du réseau, etc. La figure B.9 montre un calcul simplifié pour déterminer les courants de foudre partiels.

La figure B.10 montre un modèle de circuit issu d'un exemple d'application de calcul simplifié.

B.1.1.2 Influence of the supplying cable length on the current distribution among the conductors

With an increasing length of the supplying cable between transformer and supplied system, the influence of the transformer impedance will be reduced. Thus there will be a balance of the partial currents in the conductors (see figure B.4).

An unbalanced current distribution among conductors L1, L2, L3 and N can happen only in the case of short cables or in the case of a neutral conductor with a very low impedance (for example, due to frequent earthing).

Figure B.5 shows the current distribution in such a system.

B.1.2 Influence of the transformer

As explained in B.1.1.2, the influence of transformer impedance on current distribution depends on cable length.

Furthermore, it must be taken into account that overvoltages will arise at the transformer windings due to the passage of surge currents. In order to avoid damage, these overvoltages can be limited by SPDs installed at the transformer. When these SPDs operate, the influence of the effective transformer impedance is negligible.

B.1.3 Influence of the earthing system

The relation of the resistive parts of the earthing system at the transformer and at the consumer side is decisive for the lightning current distribution.

A reduction of the earthing resistance at the transformer side causes a current increase in the low-voltage system (refer to figure B.6).

B.1.4 Influence of parallel consumers

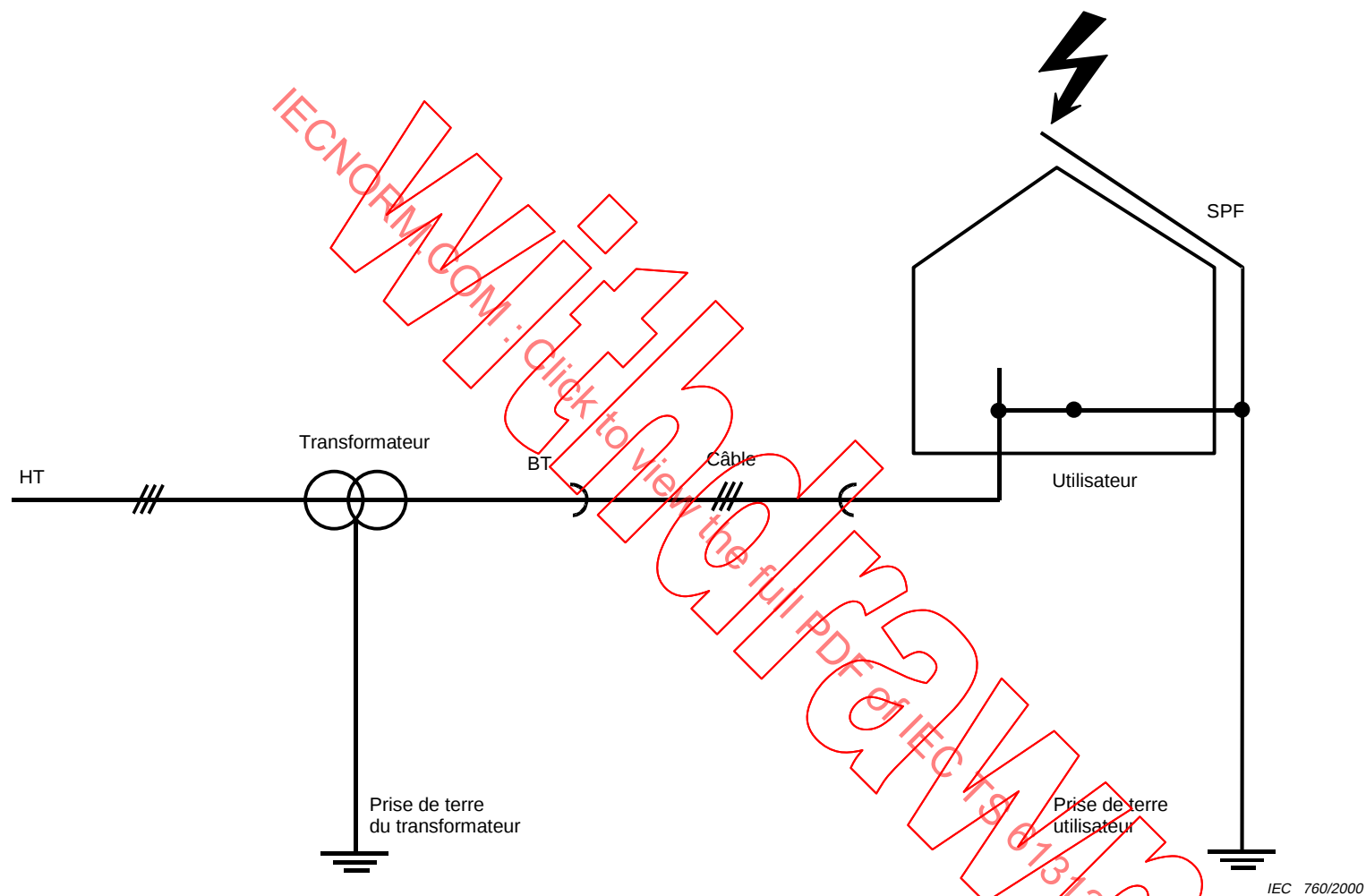
The dominating case in installation practice is the existence of parallel consumer systems. Figure B.7 shows the basic circuit diagram. The decline in the effective impedance of the consumer systems due to parallel connection leads to an increase in partial lightning currents within the low-voltage system. As indicated in figure B.8, the portion of lightning current that flows into the low-voltage system will be about 50 % in the case of one building. It will increase up to 70 % and more in the case of parallel consumer systems.

In areas with a high intermeshing degree, the important parts of lightning current therefore flow into the low-voltage system.

B.1.5 Simplified calculation method

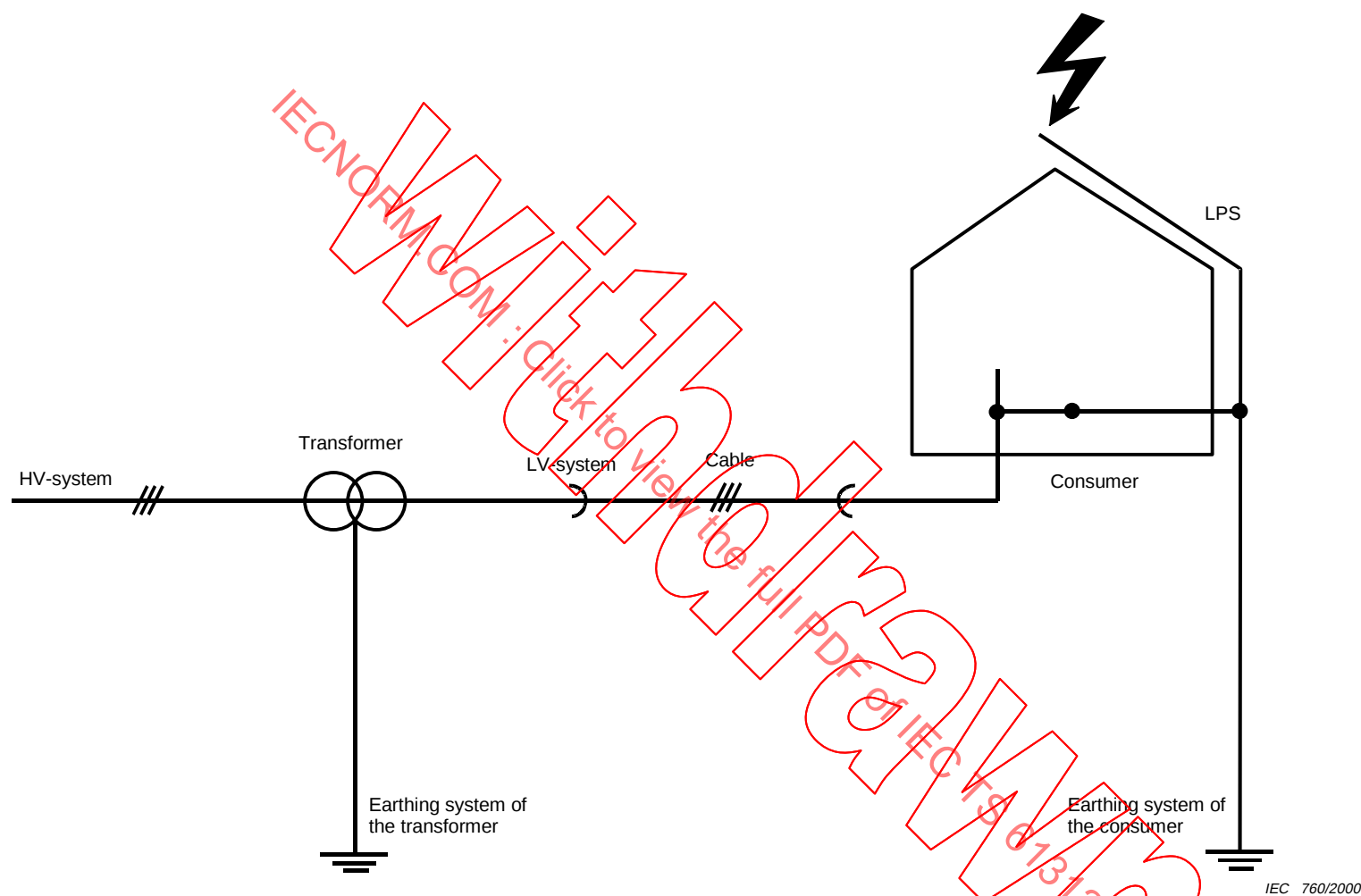
For the purpose of determining the current distribution through SPDs in case of direct lightning striking, the structure equipped with an external lightning protection system, it is, in general, sufficient to use ohmic resistance of the earthings, for example, earthing of the building, pipes, earthing of the power distribution system, etc. Figure B.9 shows a simplified calculation method to determine partial lightning currents.

Following an example for application of the simplified calculation method, figure B.10 shows the circuit model.



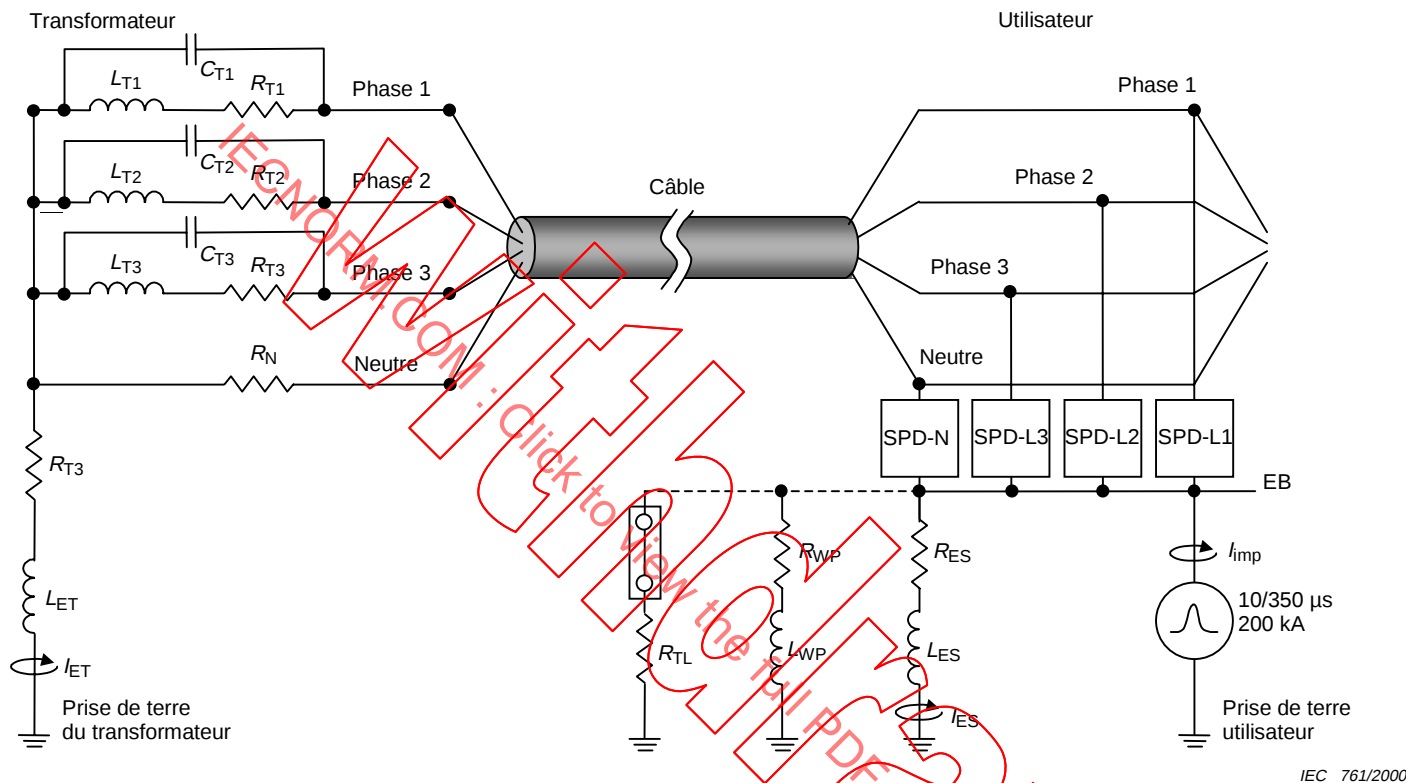
NOTE Tous les paramètres des schémas suivants sont choisis uniquement pour les calculs.
Les résultats sont considérés comme des exemples pour montrer les principes de base de la protection contre les surtensions dans un système complexe.

Figure B.1 – Modèle de base pour la distribution du courant de foudre



NOTE All the parameters in the following diagrams are chosen for demonstration purpose only.
The results have to be considered as examples to show basic principles of overvoltage protection within a complex system.

Figure B.1 – Basic model for the lightning current distribution



Légende

$L_{T1-T3} = 50 \mu\text{H}$; $R_{T1-T3} = 5 \text{ m}\Omega$; $C_{T1-T3} = 2 \text{ nF}$; $S_n = 400 \text{ kVA}$; $R_N = 2 \text{ m}\Omega$

$L_{ET} = 5 \mu\text{H}$; $R_{ET} = 30 \Omega$;

$L_{ES} = 5 \mu\text{H}$; $R_{ES} = 30 \Omega$

L_{WP} , R_{WP} : autres systèmes mis à la terre, par exemple canalisations d'eau. Souvent, il n'existe pas d'autres réseaux mis à la terre

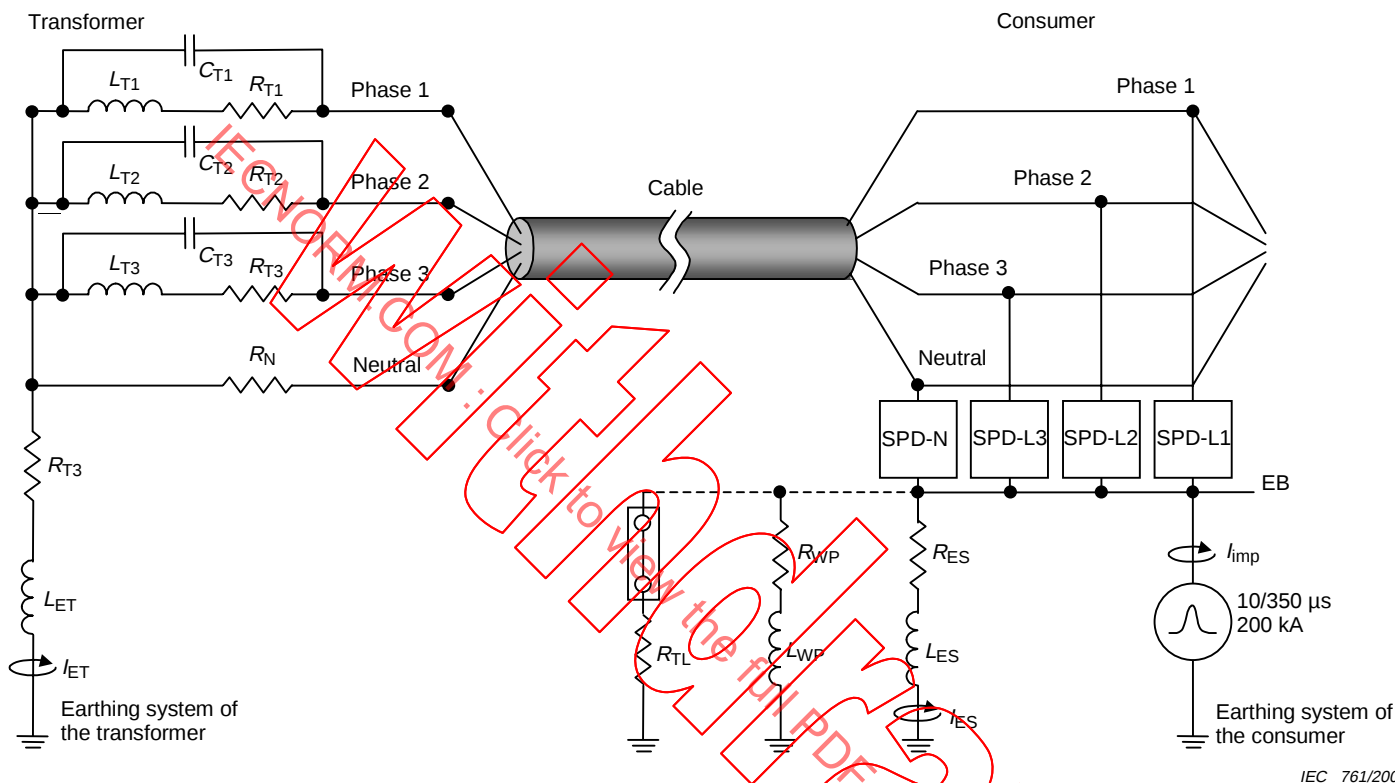
R_{TL} : prise de terre de la ligne téléphonique

EB: équipotentialité foudre

NOTE Tous les paramètres des schémas suivants sont choisis uniquement pour les calculs.

Les résultats sont considérés comme des exemples pour montrer les principes de base de la protection contre les surtensions dans un système complexe.

Figure B.2 – Schéma du circuit du modèle de base pour la distribution du courant de foudre

**Key:**

$L_{T1-T3} = 50 \mu\text{H}$; $R_{T1-T3} = 5 \text{ m}\Omega$; $C_{T1-T3} = 2 \text{ nF}$; $S_n = 400 \text{ kVA}$; $R_N = 2 \text{ m}\Omega$

$L_{ET} = 5 \mu\text{H}$; $R_{ET} = 30 \Omega$;

$L_{ES} = 5 \mu\text{H}$; $R_{ES} = 30 \Omega$

L_{WP} , R_{WP} : other earthed systems, for example, waterpipe $\Rightarrow$ Often there is no other earthed system.

R_{TL} : Earthing system of the telephone line

EB: Lightning protection equipotential bonding

NOTE All the parameters in the following diagrams are chosen for demonstration purpose only.

The results are considered as examples to show basic principles of overvoltage protection within a complex system.

Figure B.2 – Circuit diagram of the basic model for the lightning current distribution

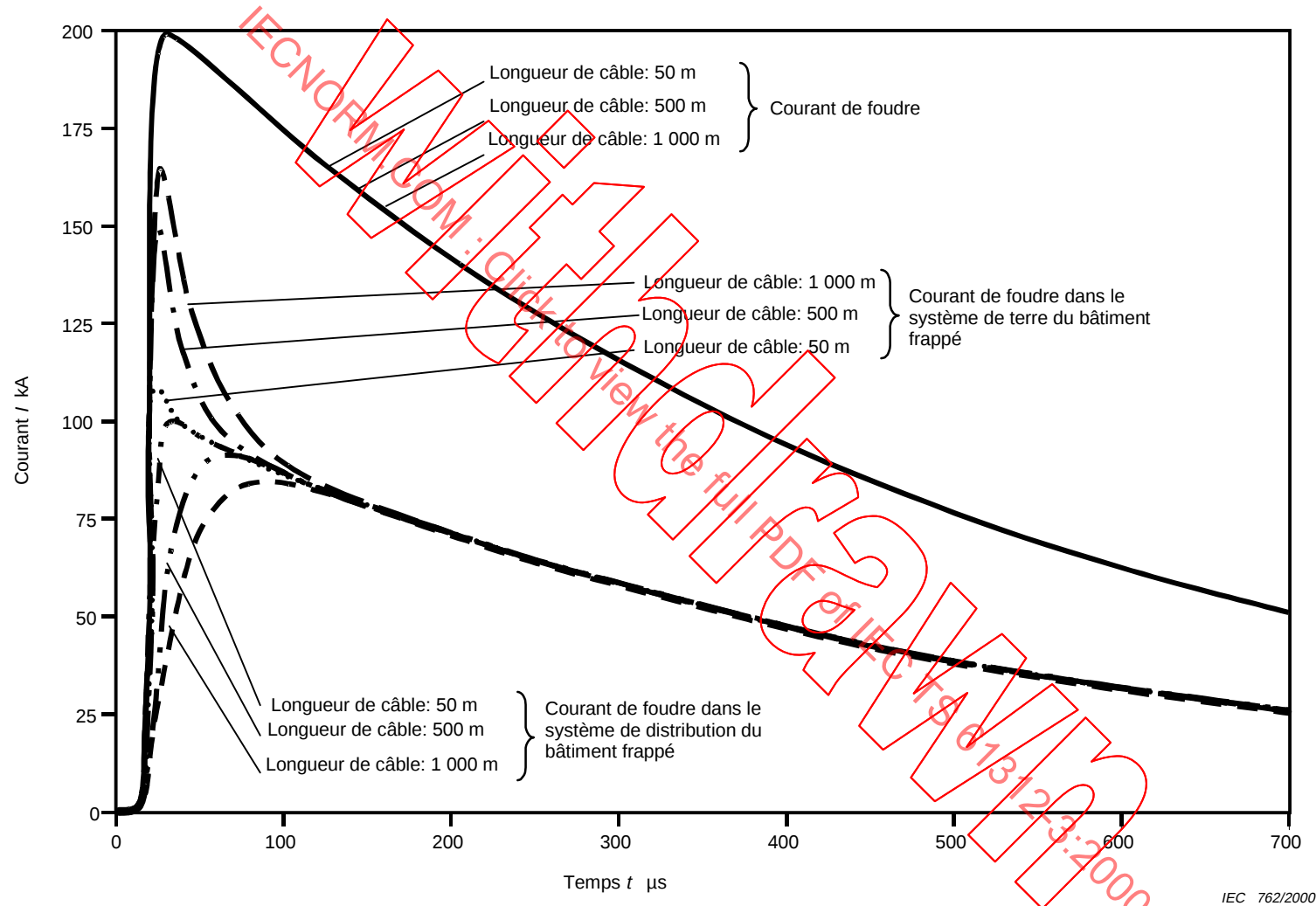


Figure B.3 – Distribution du courant de foudre dans le réseau en fonction de la longueur du câble d'alimentation (voir figure B.2)

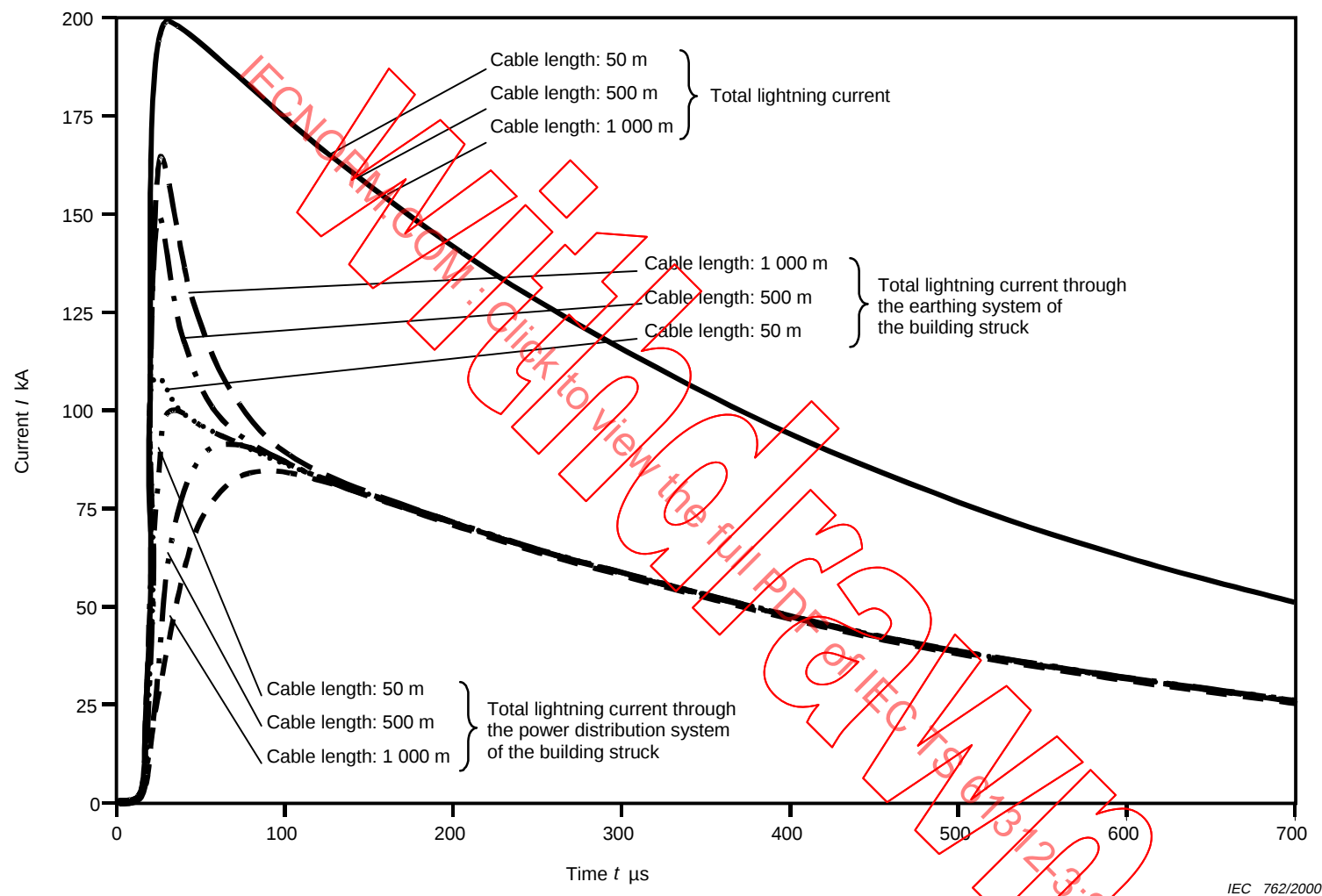


Figure B.3 – Lightning current distribution through the system dependent on the length of the cable (see figure B.2)

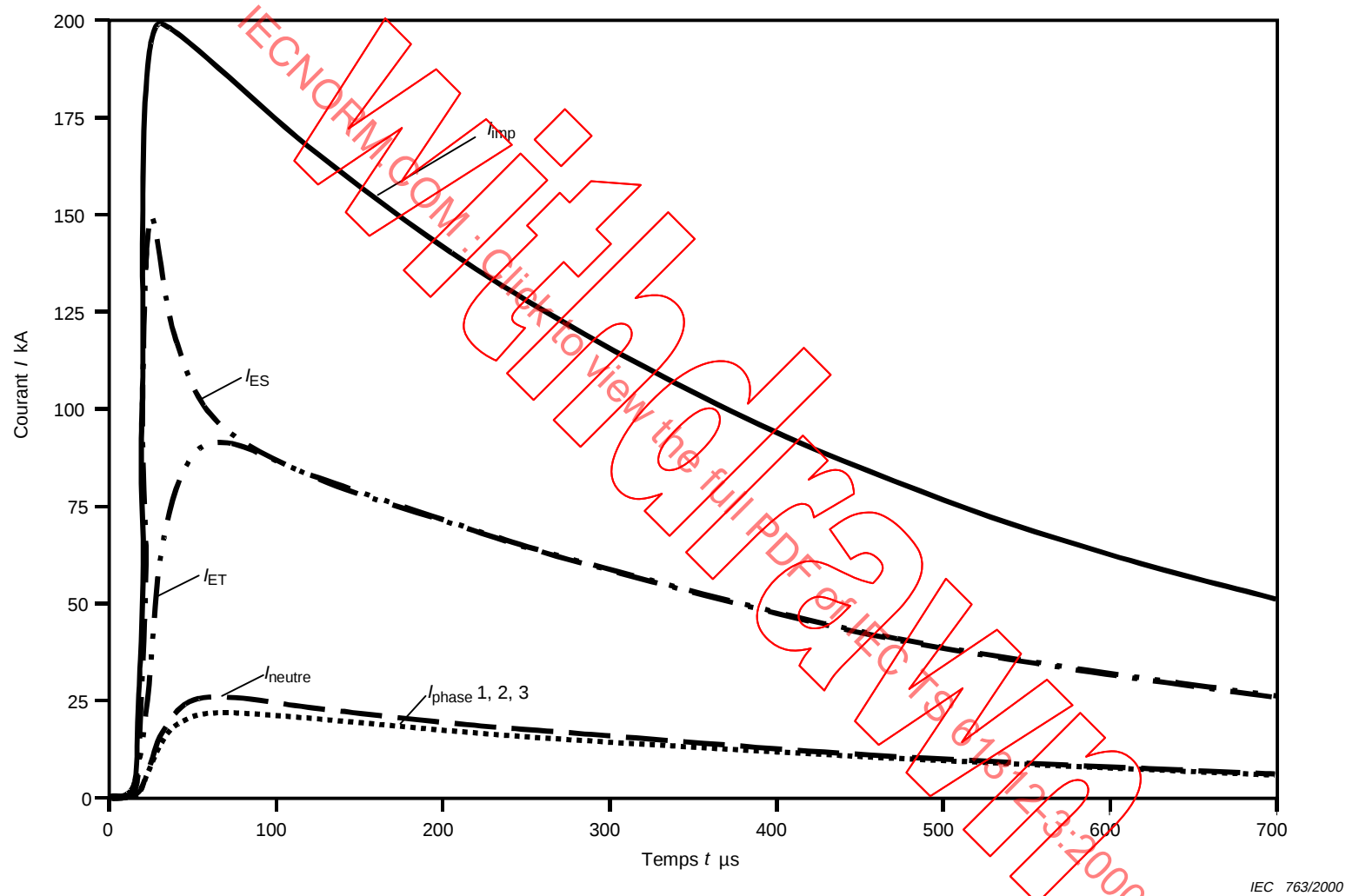


Figure B.4 – Distribution du courant de foudre pour une longueur du câble d'alimentation de 500 m (voir figure B.2)

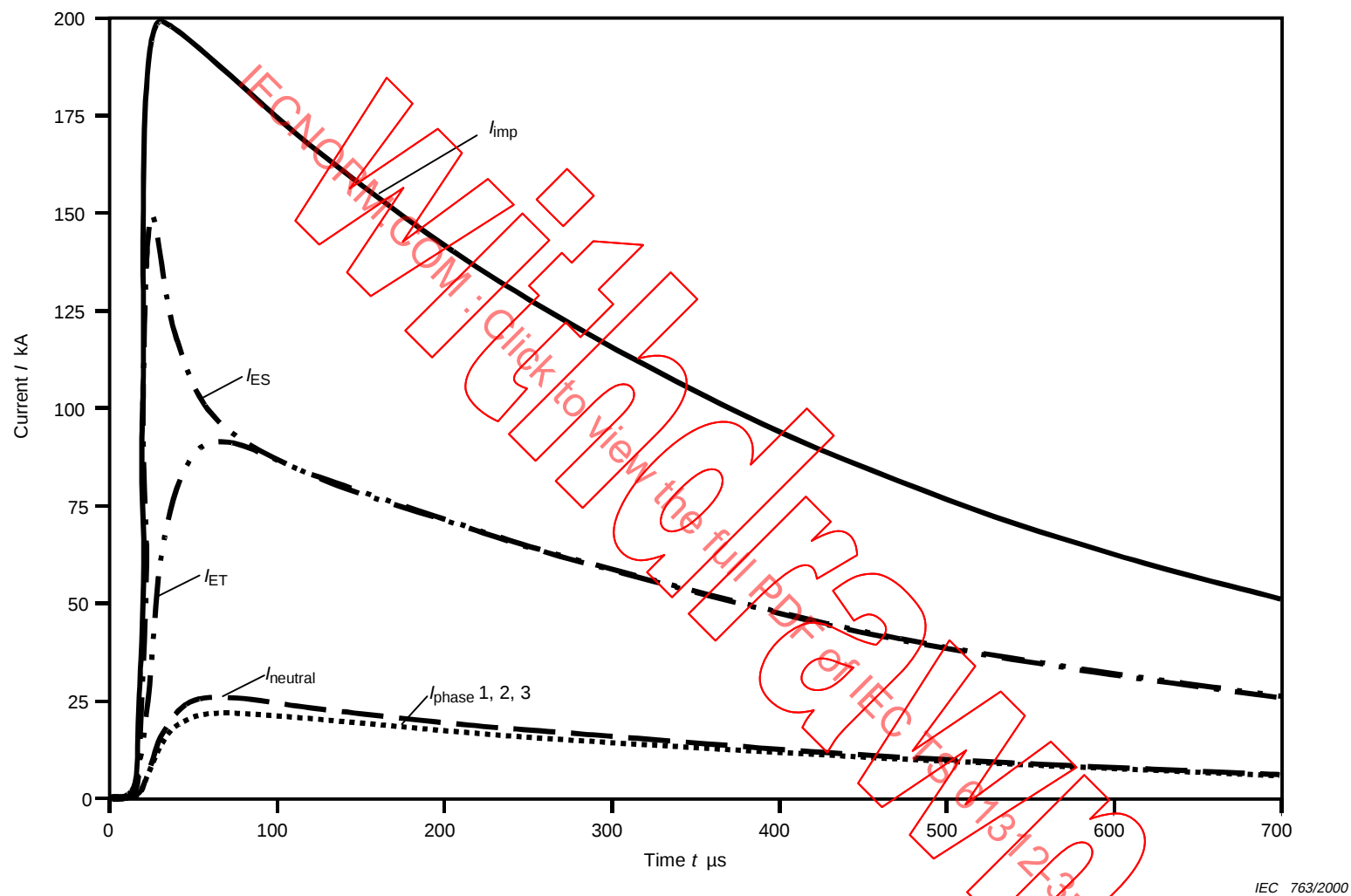


Figure B.4 – Current distribution at cable length of 500 m (see figure B.2)

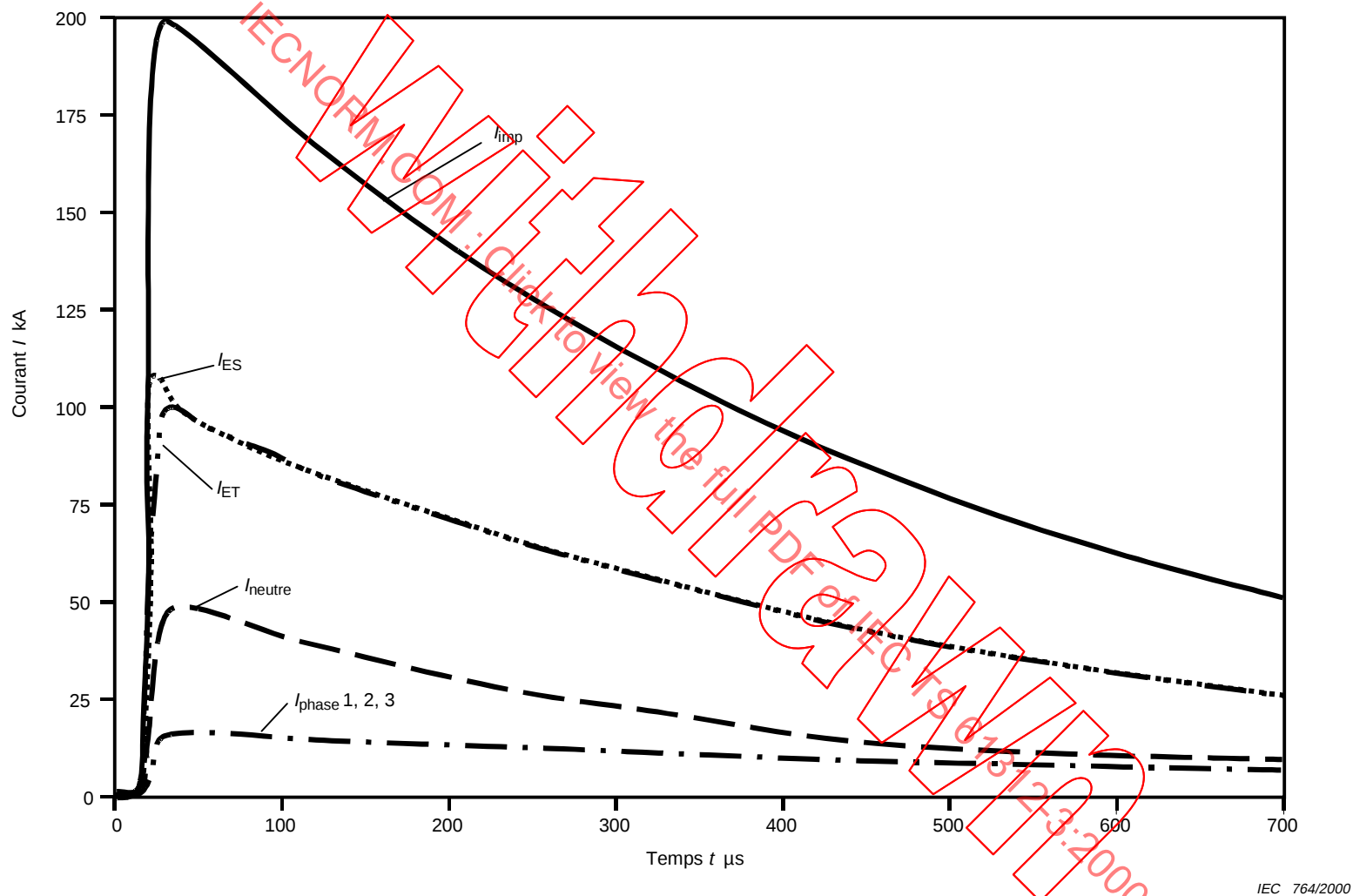


Figure B.5 – Distribution du courant de foudre pour une longueur du câble d'alimentation de 50 m (voir figure B.2)

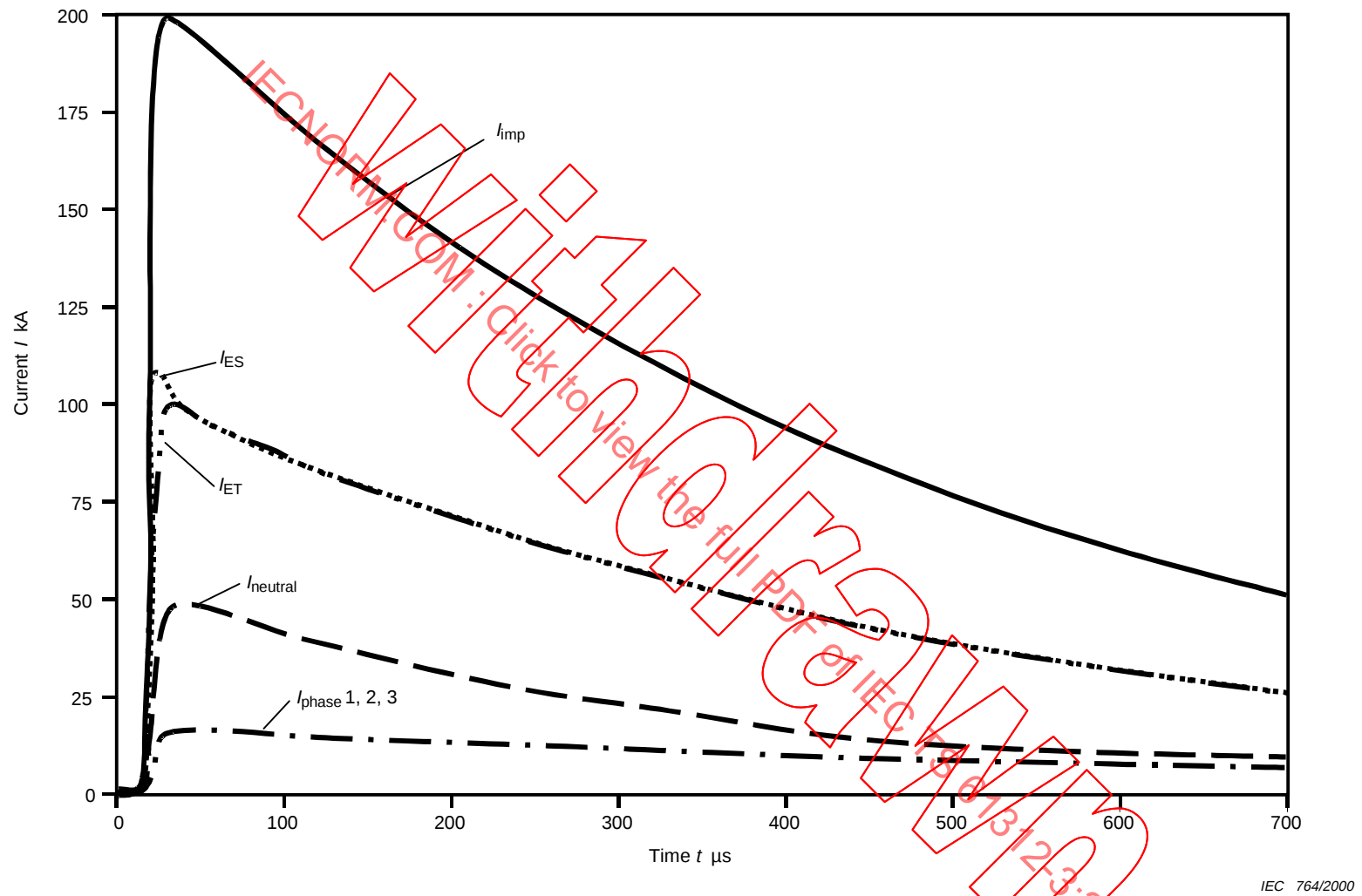
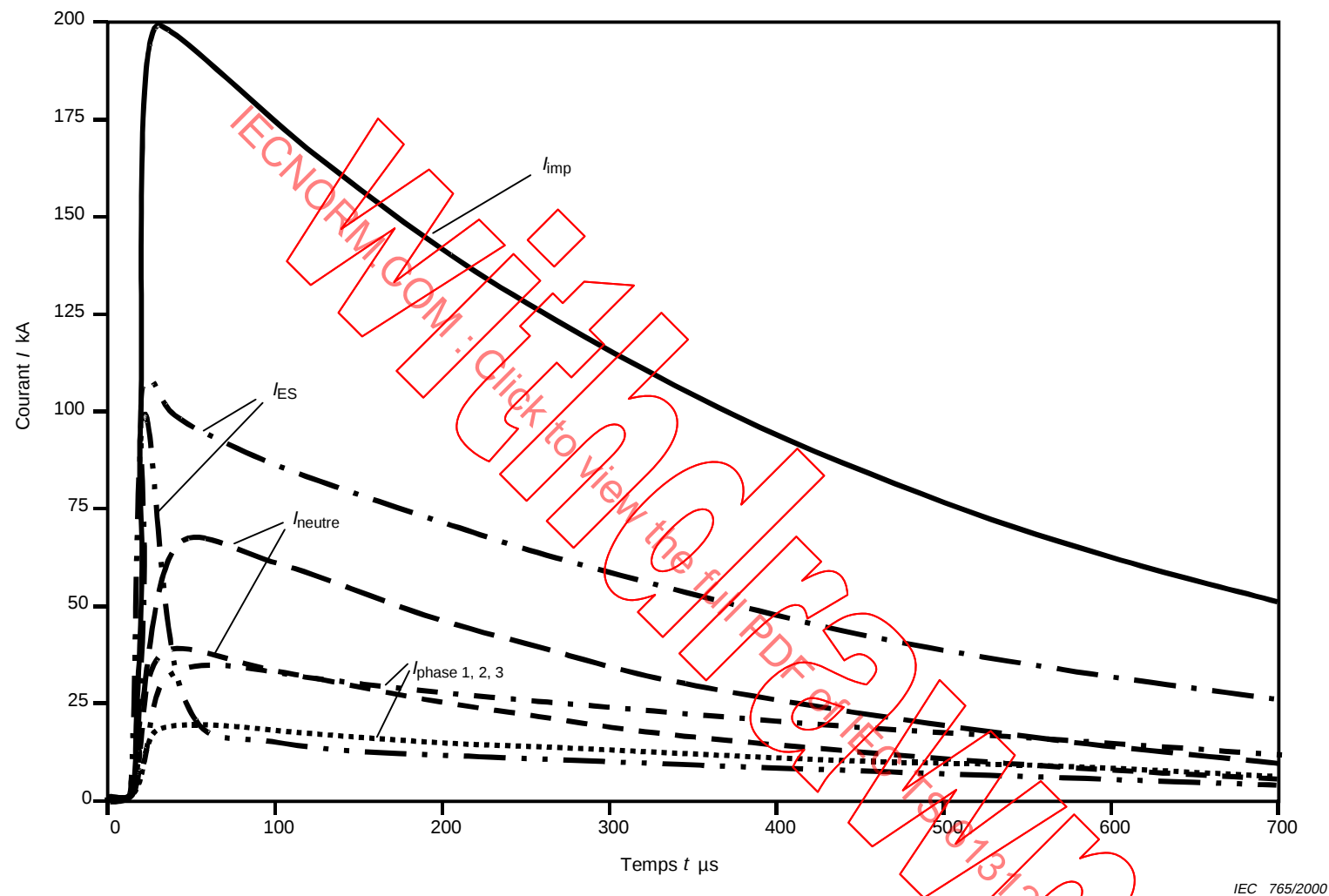


Figure B.5 – Current distribution at cable length of 50 m (see figure B.2)



Légende:

a:(-----) $R_{ET} = 3,0 \Omega$; $R_{ES} = 3,0 \Omega$

b:(-----) $R_{ET} = 0,3 \Omega$; $R_{ES} = 3,0 \Omega$

**Figure B.6 – Distribution du courant de foudre pour diverses impédances du transformateur.
Longueur du câble: 100 m (voir figure B.2)**

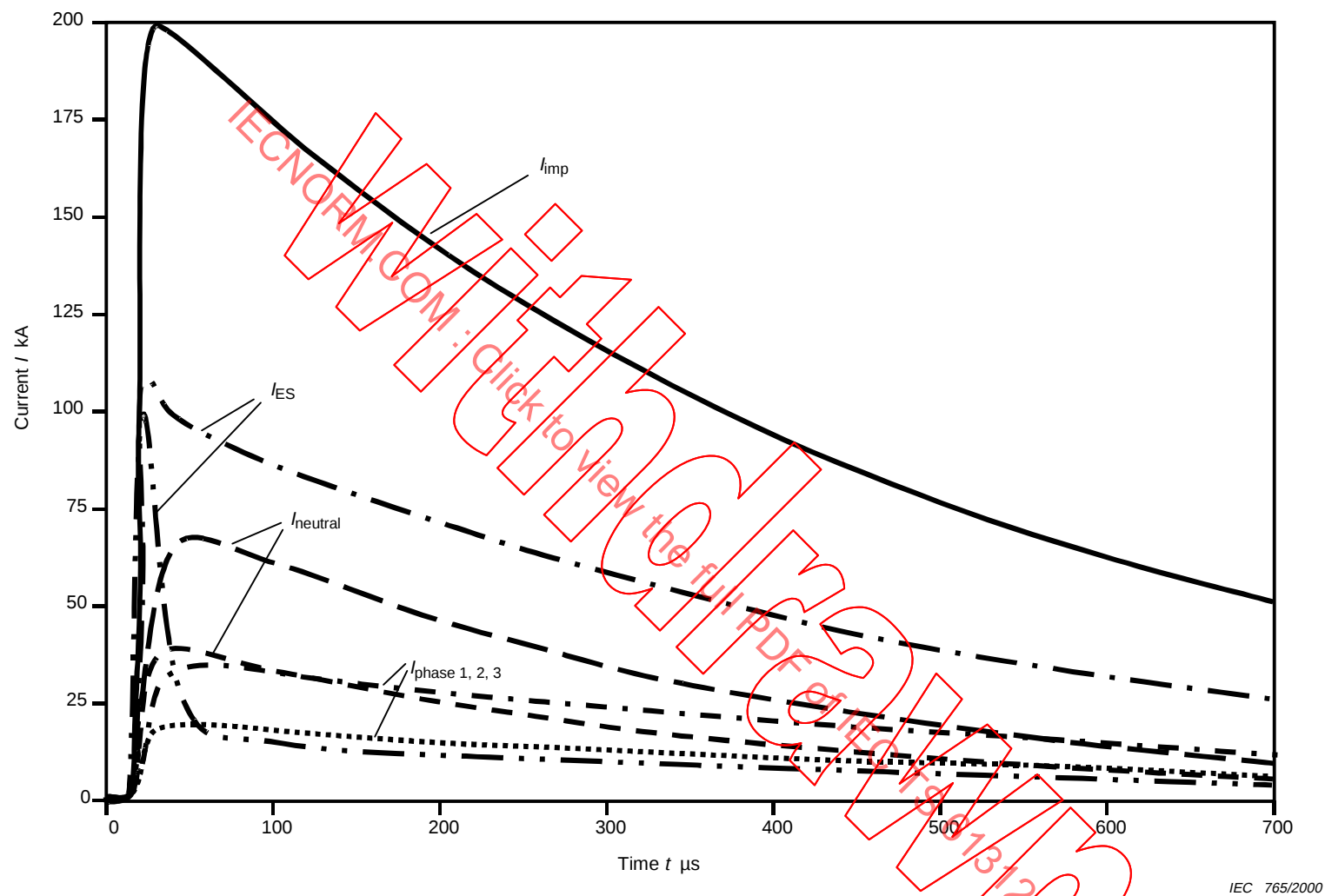
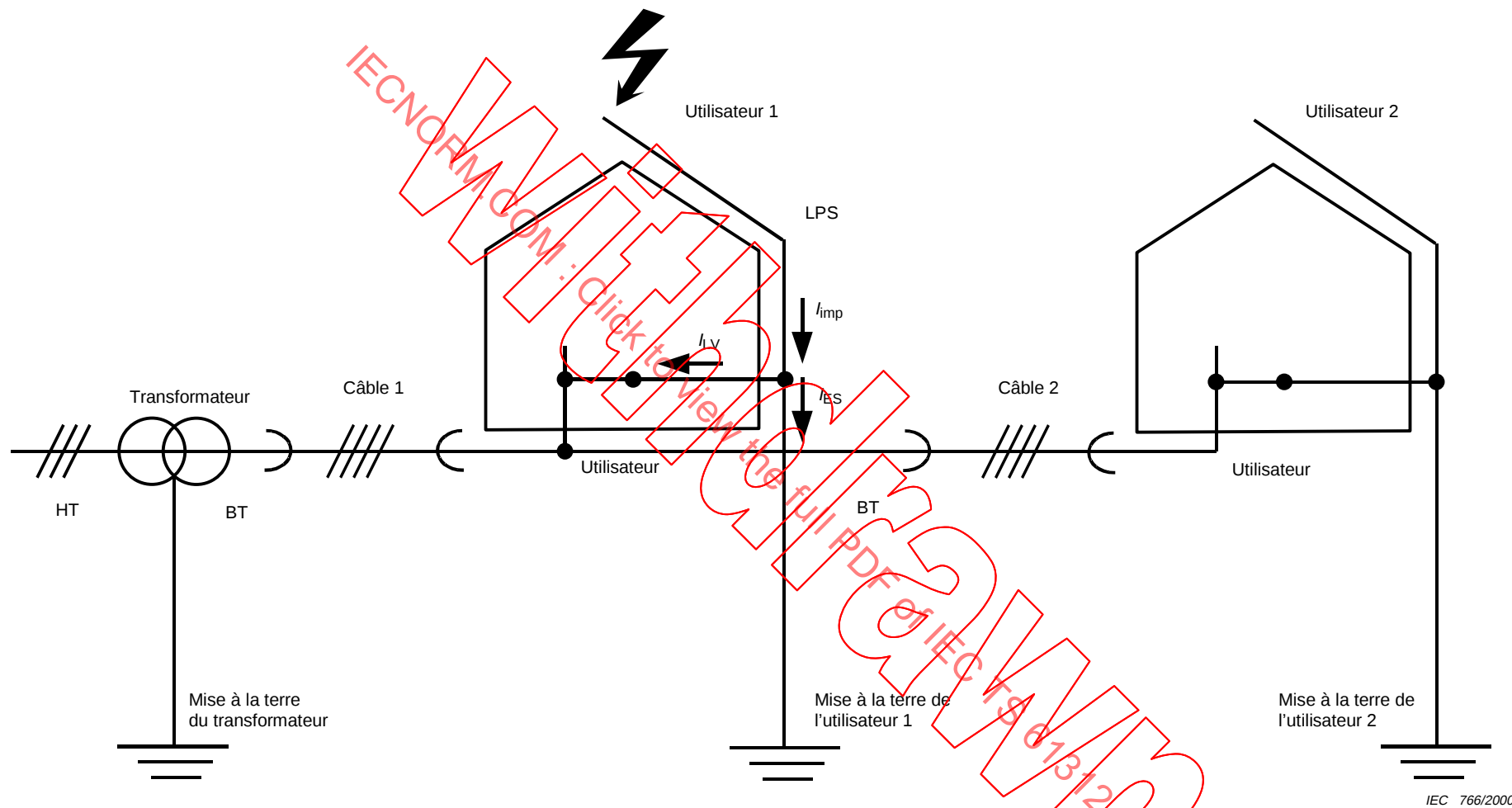
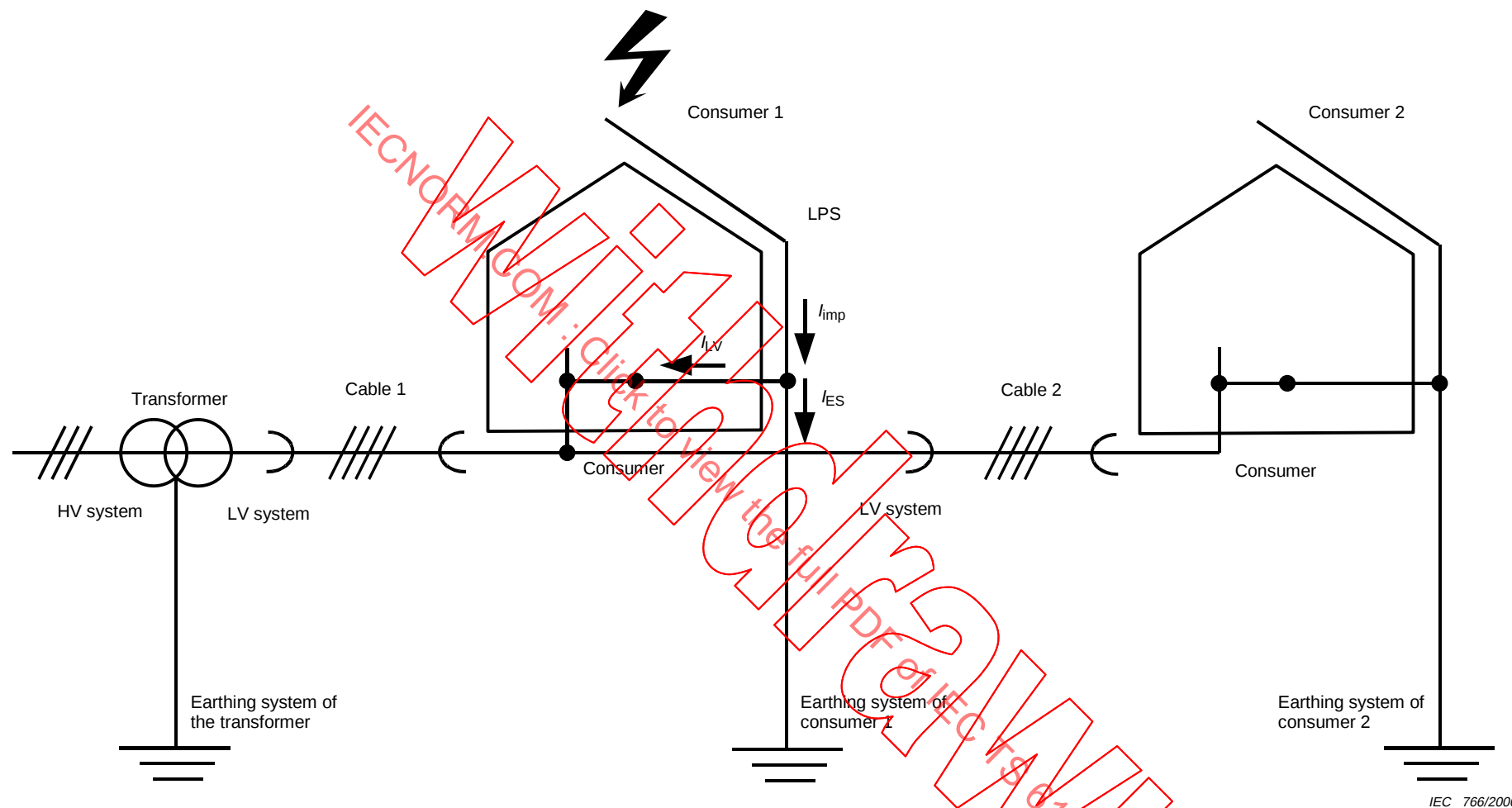
**Key:**a:(- - - -) $R_{ET} = 3,0\ \Omega$; $R_{ES} = 3,0\ \Omega$ b:(- - - -) $R_{ET} = 0,3\ \Omega$; $R_{ES} = 3,0\ \Omega$

Figure B.6 – Current distribution at different earthing impedances (transformer)
Cable length: 100 m (see figure B.2)



NOTE Tous les paramètres des schémas suivants sont choisis uniquement pour les calculs.
Les résultats sont considérés comme des exemples pour montrer les principes de base de la protection contre les surtensions dans un système complexe.

Figure B.7 – Modèle pour la distribution du courant de foudre en cas d'utilisateurs en parallèle



NOTE All the parameters in the following diagrams are chosen for demonstration purposes only.
The results are considered as examples to show basic principles of overvoltage protection within a complex system.

Figure B.7 – Model for lightning current distribution in the case of parallel consumers

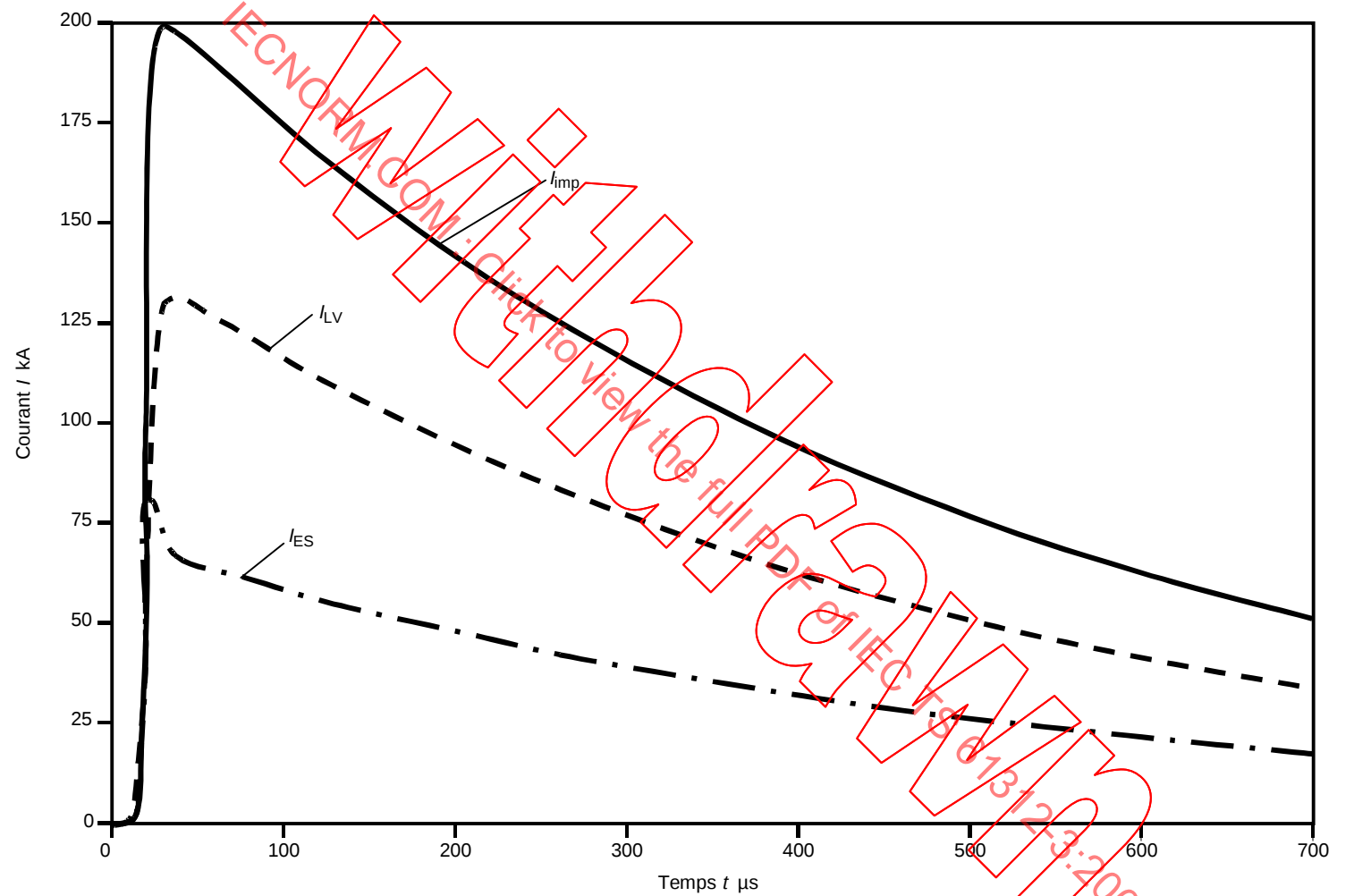


Figure B.8 – Distribution du courant dans le cas d'un seul bâtiment en parallèle (voir figure B.7)

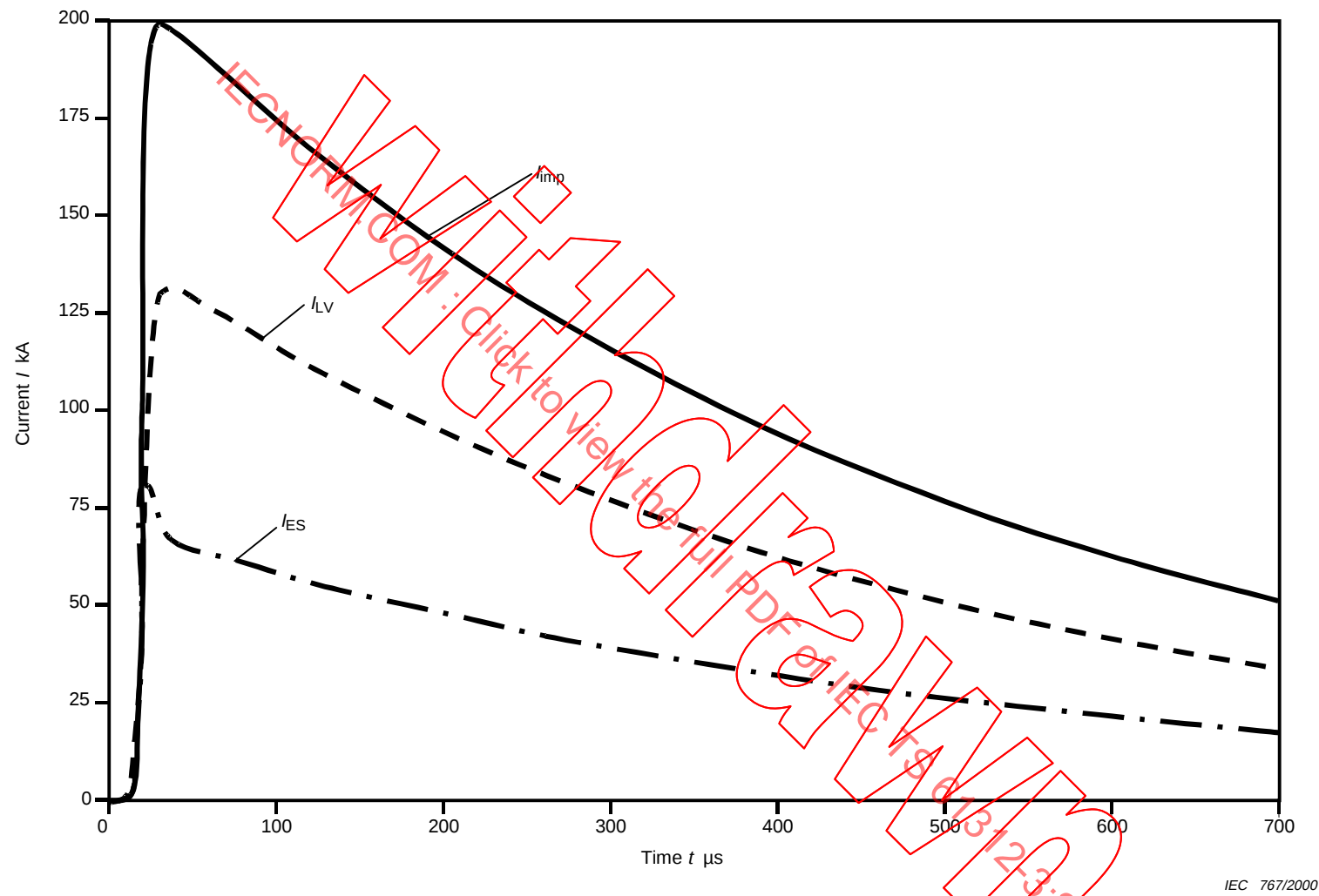
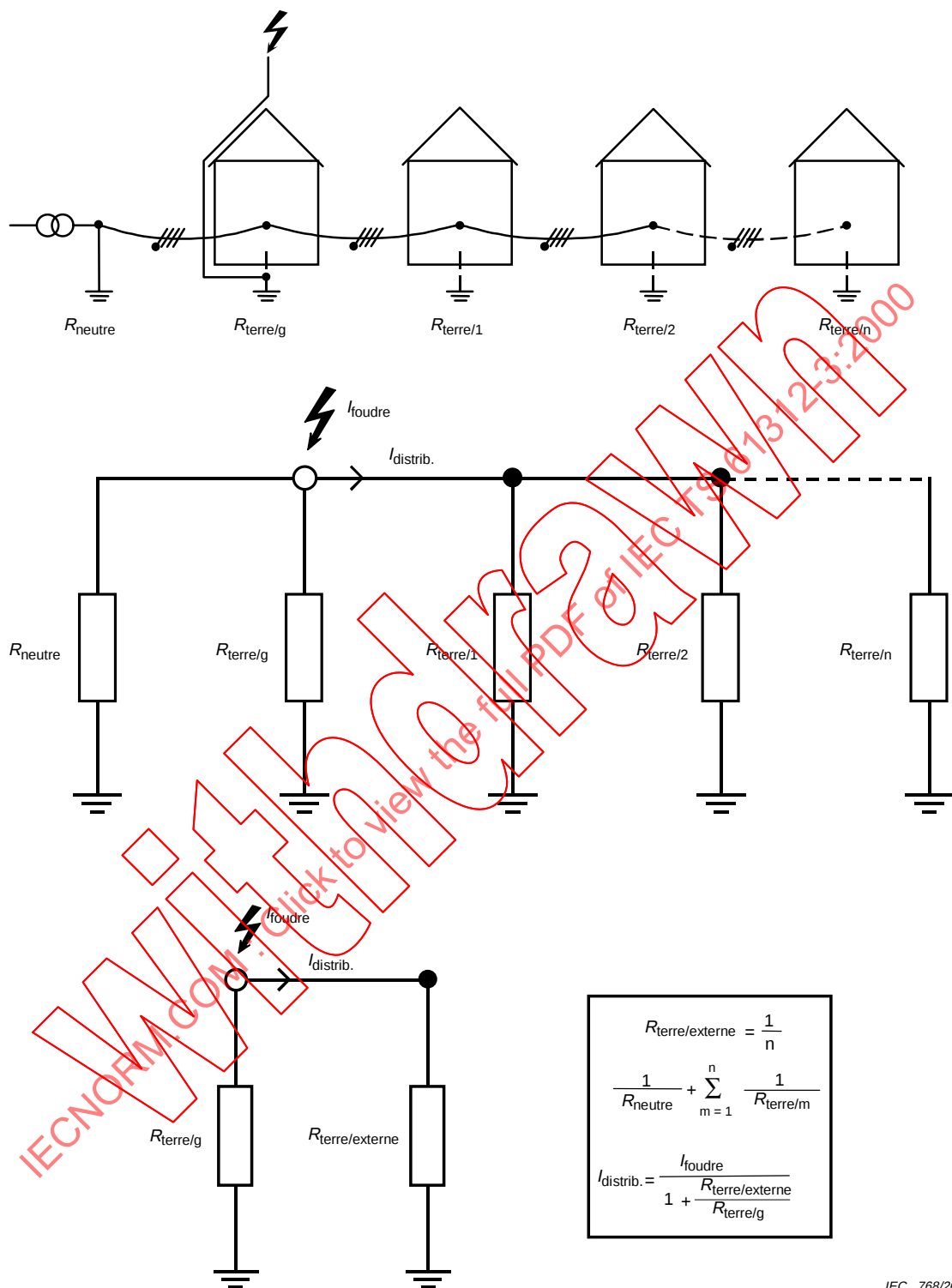


Figure B.8 – Current distribution in the case of one parallel building (see figure B.7)



IEC 768/2000

Pour ce calcul, il est recommandé que la résistance du réseau de terre du bâtiment voisin $R_{\text{terre/externe}}$ soit inférieure ou égale à la résistance $R_{\text{terre/g}}$ du bâtiment frappé.

Figure B.9 – Calcul simplifié des courants partiels dans le réseau de distribution