

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Protection against lightning –
Part 1: General principles**

**Protection contre la foudre –
Partie 1: Principes généraux**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62305-1:2024



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2024 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Secretariat
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: sales@iec.ch.

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews, graphical symbols and the glossary. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 500 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 25 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études, ...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications, symboles graphiques et le glossaire. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 500 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 25 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Protection against lightning –
Part 1: General principles**

**Protection contre la foudre –
Partie 1: Principes généraux**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.020, 91.120.40

ISBN 978-2-8322-8002-7

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

CONTENTS

FOREWORD.....	6
INTRODUCTION.....	8
1 Scope.....	10
2 Normative references	10
3 Terms and definitions	10
4 Lightning current parameters	17
5 Damage due to lightning.....	18
5.1 Damage to a structure	18
5.1.1 General	18
5.1.2 Effects of lightning on a structure	18
5.1.3 Sources and causes of damage to a structure	19
5.2 Types of loss	20
6 Need for lightning protection.....	21
6.1 Risk and frequency	21
6.2 Need for lightning protection for reduction of risk R	22
6.3 Need for lightning protection for reduction of frequency of damage F	22
7 Protection measures.....	23
7.1 General.....	23
7.2 Protection measures to reduce injury to human beings by electric shock.....	23
7.3 Protection measures to reduce physical damage.....	24
7.4 Protection measures to reduce failure of internal systems.....	24
7.5 Protection measures selection	24
8 Basic criteria for protection of structures.....	24
8.1 General.....	24
8.2 Lightning protection levels (LPLs)	25
8.3 Lightning protection zones (LPZs).....	27
8.4 Protection of structures	29
8.4.1 Protection to reduce physical damage and life hazard	29
8.4.2 Protection to reduce the failure of internal systems	30
Annex A (informative) Parameters of lightning current	31
A.1 Lightning flashes to earth.....	31
A.2 Lightning current parameters	34
A.3 Fixing the maximum lightning current parameters for LPL I	39
A.3.1 General	39
A.3.2 First positive stroke and long stroke	39
A.3.3 First negative stroke	40
A.3.4 Subsequent stroke.....	40
A.4 Fixing the minimum lightning current parameters	40
Annex B (informative) Time functions of the lightning current for analysis purposes.....	42
Annex C (informative) Simulation of the lightning current for test purposes	47
C.1 General.....	47
C.2 Simulation of the specific energy of the first positive stroke and the charge of the long stroke	47
C.3 Simulation of the front current steepness of the impulses.....	48

Annex D (informative) Test parameters simulating the effects of lightning current on LPS components.....	51
D.1 General.....	51
D.2 Current parameters relevant to the point of strike.....	51
D.3 Current sharing	52
D.4 Effects of lightning current causing possible damage	53
D.4.1 Thermal effects.....	53
D.4.2 Mechanical effects	57
D.4.3 Combined effects.....	61
D.4.4 Sparking	61
D.4.5 Soil ionization	61
D.5 LPS components, relevant problems and test parameters	61
D.5.1 General	61
D.5.2 Air terminations	61
D.5.3 Down conductors	62
D.5.4 Connecting components	63
D.5.5 Earth terminations	64
D.6 Surge protective devices (SPDs).....	64
D.6.1 General	64
D.6.2 SPD containing spark gaps.....	64
D.6.3 SPD containing metal-oxide varistors	65
D.7 Summary of the test parameters to be adopted in testing LPS components.....	66
Annex E (informative) Surge currents due to lightning at different installation points	67
E.1 General.....	67
E.2 Surge currents due to flashes to the structure (source of damage S1).....	67
E.2.1 Surge currents flowing through external conductive parts and lines connected to the structure	67
E.2.2 Factors influencing the sharing of the lightning current and related charge in power lines.....	67
E.2.3 Surge currents flowing through line conductors connected to the structure	68
E.2.4 Surge currents flowing through conductive parts and cables internal to the structure connected to LPS.....	69
E.2.5 Surge currents flowing through cables connected to different points of the earth-termination system within the same earth-termination system	70
E.3 Surge currents due to flashes to lines (source of damage S3).....	70
E.4 Surges due to flashes near the lines (source of damage S4).....	71
E.5 Surge currents due to induction effects (sources of damage S1 or S2).....	71
E.5.1 General	71
E.5.2 Surges inside an unshielded LPZ 1	72
E.5.3 Surges inside shielded LPZs.....	72
E.6 Conventional surge currents	72
Bibliography.....	75
Figure 1 – Connection between the various parts of the IEC 62305 series	9
Figure 2 – LPZ defined by an LPS (IEC 62305-3).....	28
Figure 3 – LPZ defined by LPS and SPM (IEC 62305-4)	29
Figure A.1 – Definitions of impulse current parameters according to IEC 62475 [7]	31
Figure A.2 – Definitions of long duration stroke parameters	32

Figure A.3 – Schematic representation (not to scale) of possible components of downward flashes (typical in flat territory and to lower structures) and multiple strokes downward flashes	32
Figure A.4 – Schematic representation (not to scale) of possible components of upward flashes (typical of exposed or higher structures or both)	33
Figure A.5 – Cumulative frequency distribution of lightning current parameters (dotted line through 50 % value)	38
Figure B.1 – Shape of the current rise of the first positive stroke	43
Figure B.2 – Shape of the current tail of the first positive stroke	43
Figure B.3 – Shape of the current rise of the first negative stroke	44
Figure B.4 – Shape of the current tail of the first negative stroke	44
Figure B.5 – Shape of the current rise of the subsequent negative strokes	45
Figure B.6 – Shape of the current tail of the subsequent negative strokes	45
Figure B.7 – Amplitude density of the lightning current according to LPL I	46
Figure C.1 – Example test generator for the simulation of the specific energy of the first positive stroke and the charge of the long stroke	48
Figure C.2 – Definition of the current steepness in accordance with Table C.3	49
Figure C.3 – Example test generator for the simulation of the front steepness of the first positive stroke for large test items	49
Figure C.4 – Example test generator for the simulation of the front steepness of the subsequent negative strokes for large test items	50
Figure D.1 – General arrangement of two conductors for the calculation of electrodynamic force	58
Figure D.2 – Typical conductor arrangement in an LPS	59
Figure D.3 – Diagram of the stresses F for the configuration of Figure D.2	59
Figure D.4 – Force per unit length F' along the horizontal conductor of Figure D.2	60
Table 1 – Effects of lightning on typical structures	19
Table 2 – Sources of damage, causes of damage, types of loss according to the point of strike	21
Table 3 – Maximum values of lightning parameters according to LPLs	26
Table 4 – Minimum values of lightning parameters and related rolling sphere radius corresponding to LPLs	26
Table 5 – Probabilities for the limits of the lightning current parameters	26
Table A.1 – Tabulated values of lightning current parameters (CIGRE [9], [10], [11])	35
Table A.2 – Logarithmic normal distribution of lightning current parameters – Mean μ and dispersion $\sigma_{\log}$ calculated from 5 % and 95 % values (CIGRE [9], [10], [11])	36
Table A.3 – Values of probability P as function of the lightning current I peak value	37
Table B.1 – Parameters for Equation (B.1)	42
Table C.1 – Test parameters of the first positive stroke	48
Table C.2 – Test parameters of the long stroke	48
Table C.3 – Test parameters of the strokes	49
Table D.1 – Summary of the lightning threat parameters to be considered in the calculation of the test values for the different LPS components and for the different LPLs	52
Table D.2 – Physical characteristics of typical materials used in LPS components	55

Table D.3 – Temperature rise for conductors of different sections as a function of W/R	55
Table E.1 – Conventional surge currents due to lightning flashes on low-voltage systems	73
Table E.2 – Conventional surge currents due to lightning flashes on telecommunication systems	74

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62305-1:2024

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

PROTECTION AGAINST LIGHTNING –**Part 1: General principles****FOREWORD**

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

IEC 62305-1 has been prepared by IEC technical committee 81: Lightning protection. It is an International Standard.

This third edition cancels and replaces the second edition published in 2010. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- a) reference to the IEC 62561 series [1]¹ is made in Annex D to provide a link to relevant lightning protection system components according to the IEC 62561 series;

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

- b) risk management introduces the concept of types of loss with public relevance;
- c) the concept of frequency of damage that can impair the availability of the internal systems within the structure has been introduced;
- d) surge currents due to lightning flashes have been more accurately specified for SPD dimensioning in low-voltage power systems and in telecommunication systems.

The text of this International Standard is based on the following documents:

Draft	Report on voting
81/737/FDIS	81/756/RVD

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

The language used for the development of this International Standard is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/publications.

A list of all parts in the IEC 62305 series, published under the general title *Protection against lightning*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under webstore.iec.ch in the data related to the specific document. At this date, the document will be

- reconfirmed,
- withdrawn, or
- revised.

INTRODUCTION

There are no devices or methods capable of modifying the natural weather phenomena to the extent that they can prevent lightning discharges. Lightning flashes to, or nearby, structures (or lines connected to the structures) are hazardous to people, to the structures themselves, their contents and installations as well as to lines. This is why the application of lightning protection measures is essential.

The need for protection, the economic benefits of installing protection measures, and the selection of adequate protection measures should be determined in terms of risk management. Risk management is the subject of IEC 62305-2 [2].

NOTE In Germany, the need for lightning protection is determined by, and the class of required LPS shall be selected according to, a national annex to the third edition of IEC 62305-1 (including an option for a risk assessment following the third edition of IEC 62305-2).

Protection measures considered in the IEC 62305 series have been proven to be effective in risk reduction.

All measures for protection against lightning form the overall lightning protection. For practical reasons the criteria for design, installation and maintenance of lightning protection measures are considered in two separate groups:

- the first group concerning protection measures to reduce physical damage and life hazard in a structure is given in IEC 62305-3;
- the second group concerning protection measures to reduce failures of electrical and electronic systems in a structure is given in IEC 62305-4.

The connection between the parts of the IEC 62305 series is illustrated in Figure 1.

NOTE The implementation of an IEC 62793 [3] compliant TWS in the protection measures for a structure can assist in reducing physical damage, life hazard, and failure of electrical and electronic systems.

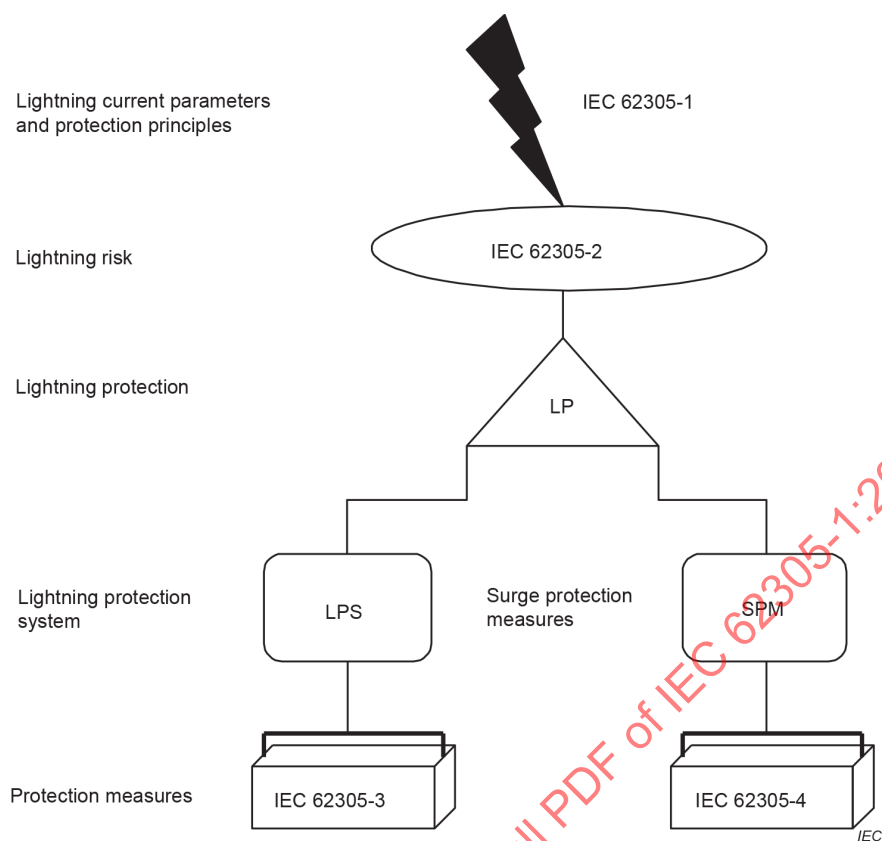


Figure 1 – Connection between the various parts of the IEC 62305 series

PROTECTION AGAINST LIGHTNING –

Part 1: General principles

1 Scope

This part of IEC 62305 provides general principles for the protection of structures against lightning, including their installations and contents, as well as persons.

The following cases are outside the scope of this document:

- railway systems;
- vehicles, ships, aircraft, offshore installations;
- underground high-pressure pipelines;
- pipe, power and telecommunication lines separated from the structure;
- nuclear power plants.

The IEC 62305 series should be considered as a minimum requirement for these structures.

Until any further information by CIGRE is available the lightning current parameters described in this document can be applied also for offshore installations.

NOTE 1 In these cases, structures usually fall under special regulations produced by various specialized authorities. For structures (subsidiary or others) not falling under such special regulations, the IEC 62305 series still applies.

NOTE 2 Lightning protection of wind turbines is also covered by IEC 61400-24 [4].

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 62305-3:2024, *Protection against lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazard*

IEC 62305-4:2024, *Protection against lightning – Part 4: Electrical and electronic systems within structures*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

ISO and IEC maintain terminology databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <https://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <https://www.iso.org/obp>

3.1**lightning flash to earth**

electrical discharge of atmospheric origin between cloud and earth consisting of one or more strokes

3.2**downward flash**

lightning flash initiated by a downward leader from cloud to earth

Note 1 to entry: A downward flash consists of a first current short stroke, which can be followed by other subsequent short strokes. One or more short strokes can be also followed by a long stroke.

3.3**upward flash**

lightning flash initiated by an upward leader from an earthed structure to cloud

Note 1 to entry: An upward flash consists of a first long stroke with or without multiple superimposed impulses. One or more impulses can be followed by a long stroke.

3.4**lightning stroke**

single electrical discharge in a lightning flash to earth

3.5**short stroke**

part of the lightning flash which corresponds to an impulse current

Note 1 to entry: The impulse current has a time T_2 to the half peak value on the tail typically less than 2 ms (see Figure A.1).

3.6**long stroke**

part of the lightning flash which corresponds to a continuing current

Note 1 to entry: The duration time T_{LONG} of this continuing current is typically more than 2 ms and less than 1 s (see Figure A.2).

3.7**multiple strokes lightning flash**

lightning flash consisting on average of three to four strokes, with a typical time interval between them of about 50 ms

Note 1 to entry: Events having up to a few dozen strokes with intervals between them ranging from 10 ms to 250 ms have been reported.

3.8**point of strike**

point where a lightning flash strikes the earth or a structure (e.g. building, LPS, line, tree)

Note 1 to entry: A lightning flash can have more than one point of strike.

3.9**lightning current**

i

current flowing at the point of strike

3.10**current peak value**

I

maximum value of the lightning current

3.11

average steepness of the current front

di/dt

maximum current of the impulse I divided by the front time of the impulse T_1

Note 1 to entry: See 3.10 and 3.12 and Figure A.1.

3.12

front time of impulse current

T_1

virtual parameter defined as 1,25 times the time interval between the instants when the 10 % and 90 % of the peak value are reached

SEE: Figure A.1.

3.13

virtual origin of impulse current

O_1

point of intersection with the time axis of a straight line drawn through the 10 % and the 90 % reference points on the stroke current front preceding by 0,1 T_1 that instant at which the current attains 10 % of its peak value

SEE: Figure A.1.

3.14

time to half value on the tail of impulse current

T_2

virtual parameter defined as the time interval between the virtual origin O_1 and the instant at which the current has decreased to half the peak value on the tail

SEE: Figure A.1.

3.15

flash duration

T

time for which the lightning current flows at the point of strike

3.16

duration of long stroke current

T_{LONG}

time duration during which the current in a long stroke is between 10 % of the peak value during the increase of the continuing current and 10 % of the peak value during the decrease of the continuing current

SEE: Figure A.2.

3.17

flash charge

Q_{FLASH}

value resulting from the time integral of the lightning current for the entire lightning flash duration

3.18

short stroke charge

Q_{SHORT}

value resulting from the time integral of the lightning current in an impulse

3.19**long stroke charge** Q_{LONG}

value resulting from the time integral of the lightning current in a long stroke

3.20**specific energy** W/R

value resulting from the time integral of the square of the lightning current for the entire flash duration

Note 1 to entry: The specific energy represents the energy dissipated by the lightning current in a unit resistance.

3.21**specific energy of the impulse current**

value resulting from the time integral of the square of the lightning current for the duration of the impulse

Note 1 to entry: The specific energy in a long stroke current is negligible.

3.22**structure to be protected**

any place, facility or building suitable to contain persons, animals, materials or systems

Note 1 to entry: A structure to be protected can be part of a larger structure.

3.23**line**

external power line or telecommunication line connected to the structure to be protected

3.24**telecommunication line**

line intended for communication between equipment that can be located in separate structures, such as a phone line and a data line

3.25**power line**

distribution line feeding electrical energy into a structure to power electrical and electronic equipment located there, such as low voltage (LV) or high voltage (HV) electric mains

3.26**lightning flash to a structure**

lightning flash striking a structure

3.27**lightning flash near a structure**

lightning flash striking close enough to a structure that it can cause dangerous overvoltages

3.28**lightning flash to a line**

lightning flash striking a line connected to a structure

3.29**lightning flash near a line**

lightning flash striking close enough to a line connected to a structure that it can cause dangerous overvoltages within the structure

3.30

dangerous event

lightning flash to or near a structure, or to or near a line connected to the structure that can cause damage within the structure

3.31

dangerous sparking

spark inside the structure where lightning current flows triggering fire or explosion or leading to mechanical and chemical effects which can also endanger the environment

3.32

electrical system

system incorporating low-voltage power supply components

3.33

electronic system

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

3.34

internal systems

electrical and electronic systems of a structure

Note 1 to entry: Internal systems may for example be located on the roof of the structure provided they are connected internally to the structure.

3.35

physical damage

damage to a structure (or to its contents) due to mechanical, thermal, chemical and explosive effects of lightning

3.36

injury to human beings

injuries to, including loss of life of, people, resulting from lightning

3.37

failure of internal systems

damage of internal systems due to LEMP

3.38

lightning electromagnetic impulse

LEMP

fast time-varying electromagnetic field emitted by lightning which can create surges via resistive, inductive and capacitive coupling to circuits

3.39

surge

transient in lines and equipment created by LEMP that appears as overvoltage or overcurrent or both

3.40

lightning protection zone

LPZ

zone where the lightning electromagnetic environment is defined

Note 1 to entry: The zone boundaries of an LPZ are not necessarily physical boundaries (e.g. walls, floor and ceiling).

3.41
frequency of damage F

value of the annual number of damaging events due to LEMP which can occur to the internal systems of a structure

3.42
tolerable frequency of damage F_T

maximum value of the frequency of damage which can be tolerated for the internal systems of the structure or a zone to be protected

3.43
loss L

mean amount of a specified type of loss consequent to a dangerous event in the considered zone of a structure

3.44
loss of public relevance

loss which will result in consequences that will affect more than those involved in the decision-making process such as external consequences, injury to human beings, unavailability of services provided to the public, including physical damage, damage to the environment, and costs required to be paid by the public

EXAMPLE The costs of emergency measures to limit the damage, the costs resulting from loss of the structure and production, the costs of reconstruction.

3.45
service

function performed by the internal systems of the structure to supply a specific need

3.46
service of public relevance

service provided to the public as well as service where the heritage of cultural interest is involved

3.47
risk R

probable average annual loss due to lightning, in a structure or in a considered zone of the structure

3.48
tolerable risk R_T

maximum value of the risk which can be tolerated for the structure to be protected

3.49
lightning protection level
LPL

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

Note 1 to entry: The lightning protection level is used to design protection measures according to the relevant set of lightning current parameters.

3.50

protection measures

measures adopted for the structure to be protected in order to reduce the risk

3.51

lightning protection

LP

measures taken for the protection of structures against lightning, including their internal systems and contents, as well as persons, in general consisting of an LPS and SPM

3.52

lightning protection system

LPS

complete system used to reduce injury to human beings and physical damage due to lightning flashes to a structure

Note 1 to entry: A lightning protection system consists of both external and internal lightning protection systems. To protect internal systems against the effects of LEMP, measures according to IEC 62305-4 are necessary.

3.53

external lightning protection system

part of the LPS consisting of an air-termination system, a down-conductor system and an earth-termination system

3.54

internal lightning protection system

part of the LPS consisting of lightning equipotential bonding or electrical separation of an external LPS or both

3.55

air-termination system

part of an external LPS using metallic elements such as rods, masts, mesh conductors or catenary wires intended to intercept lightning flashes

3.56

down-conductor system

part of an external LPS intended to conduct lightning current from the air-termination system to the earth-termination system

3.57

earth-termination system

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

3.58

external conductive parts

extended metal items entering or leaving the structure to be protected such as pipe works, cable metallic elements, metal ducts which can carry a part of the lightning current

3.59

lightning equipotential bonding

EB

bonding to the LPS of separated metallic parts, by direct conductive connections or via surge protective devices, to reduce potential differences caused by lightning current

3.60

conventional earthing impedance

ratio of the peak values of the earth-termination voltage and the earth-termination current which, in general, do not occur simultaneously

3.61**surge protection measures****SPM**

measures taken to protect internal systems against the effects of LEMP

Note 1 to entry: Surge protection measures are part of the overall lightning protection.

3.62**electromagnetic shield**

screen of conductive material intended to reduce the penetration of a time-varying electromagnetic field into the structure or part of the structure to be protected, used to reduce failures of internal systems

3.63**surge protective device****SPD**

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

3.64**coordinated SPD system**

set of SPDs properly selected, coordinated and installed to form a system intended to reduce failures of internal systems

3.65**isolating interfaces**

devices which are capable of reducing conducted surges on lines entering the LPZ

Note 1 to entry: Isolating interfaces include isolation transformers with an earthed screen between windings, metal free fibre optic cables and opto-isolators.

Note 2 to entry: The insulation withstand characteristics of these devices should be suitable for this application either intrinsically or by SPD.

3.66**separation distance**

s

necessary distance between a conductor carrying full or partial lightning current and other conductive parts to avoid dangerous sparking

3.67**safety distance**

d_s

necessary distance between the internal systems and the shield of the LPZ, at which the shielding effect of the LPZ against the influence of the magnetic field is valid

4 Lightning current parameters

The lightning current parameters used in the IEC 62305 series are given in Annex A.

The time function of the lightning current to be used for analysis purposes is given in Annex B.

Information for simulation of lightning current for test purposes is given in Annex C.

The basic parameters to be used in laboratories to simulate the effects of lightning on LPS components are given in Annex D.

Information on surges due to lightning at different installation points is given in Annex E.

5 Damage due to lightning

5.1 Damage to a structure

5.1.1 General

Lightning affecting a structure can cause damage to the structure itself and to its occupants and contents, including failure of internal systems. The damages and failures can also extend to the surroundings of the structure and even involve the local environment. The scale of this extension depends on the characteristics of the structure and on the characteristics of the lightning flash.

5.1.2 Effects of lightning on a structure

The main characteristics of structures relevant to lightning effects include:

- construction (e.g. wood, brick, concrete, reinforced concrete, steel frame construction);
- function (dwelling house, office, farm, theatre, hotel, school, hospital, museum, church, prison, department store, bank, factory, industry plant, sports area);
- occupants and contents (persons and animals, presence of combustible or non-combustible materials, explosive or non-explosive materials, radioactive materials, hazardous biochemical materials, electrical and electronic systems with low or high rated impulse voltage);
- connected lines (power lines, telecommunication lines) pipelines;
- photovoltaic systems, vehicle charging systems, mobile phone installations;
- existing or provided protection measures (protection measures to reduce physical damage and life hazard, protection measures to reduce failure of internal systems);
- scale of the extension of danger (structure with difficulty of evacuation or structure where panic can be created, structure dangerous to the surroundings, structure dangerous to the environment).

Table 1 reports some examples of the effects of lightning on various types of structures.

Table 1 – Effects of lightning on typical structures

Type of structure according to function or contents or both	Effects of lightning
Dwelling house	Puncture of electrical installations, fire and material damage Damage normally limited to structures exposed to the point of strike or to the lightning current path Failure of electrical and electronic equipment and systems installed (e.g. TV sets, computers, modems, telephones)
Farm building	Primary risk of fire and hazardous step voltages as well as material damage Secondary risk due to loss of electric power, and life hazard to livestock due to failure of electronic control of ventilation and food supply systems, etc.
Theatre Hotel School Department store Sports area	Damage to the electrical installations (e.g. electric lighting) likely to cause panic Failure of fire alarms resulting in delayed fire-fighting measures
Bank Insurance company Commercial company, etc.	As all the types of structures listed above, plus problems resulting from loss of communication, failure of computers and loss of data
Hospital Nursing home Prison	As all the types of structures listed above, plus problems of people in intensive care, and the difficulties of rescuing immobile people
Industry	Additional effects depending on the contents of factories, ranging from minor to unacceptable damage and loss of production
Museums and archaeological site Church	Loss of irreplaceable cultural heritage
Telecommunication Power plants	Unacceptable loss of services to the public
Firework factory Munitions works	Consequences of fire and explosion to the plant and its surroundings
Surface mine	Risk of hazardous step voltages Risk of damage to plant and mobile machinery, including tyre explosions
Underground mine	Risk of hazardous step voltages Risk due to loss of electric power Risk of methane gas explosion or coal dust fire
Chemical plant Refinery Biochemical laboratories and plants	Fire and malfunction of the plant with detrimental consequences to the local and global environment

5.1.3 Sources and causes of damage to a structure

The lightning current is the source of damage. The following situations shall be taken into account, depending on the position of the point of strike relative to the structure considered:

S1: flashes to the structure;

S2: flashes near the structure;

S3: flashes to the lines connected to the structure;

S4: flashes near the lines connected to the structure.

a) Flashes to the structure can cause:

- immediate mechanical damage, fire or explosion or both due to the hot lightning plasma arc itself, due to the current resulting in ohmic heating of conductors (over-heated conductors), or due to the charge resulting in arc erosion (melted metal);
- fire or explosion of both triggered by sparks caused by overvoltages resulting from resistive and inductive coupling and to passage of part of the lightning currents;
- injury to human beings by electric shock resulting from direct strike or by resistive and inductive coupling;
- failure or malfunction of internal systems due to LEMP.

b) Flashes near the structure can cause:

- failure or malfunction of internal systems due to LEMP.

c) Flashes to a line connected to the structure can cause:

- fire or explosion or both triggered by sparks due to overvoltages and lightning currents transmitted through the connected line;
- injury to human beings by electric shock due to touch voltages inside the structure caused by lightning currents transmitted through the connected line;
- failure or malfunction of internal systems due to overvoltages appearing on connected lines and transmitted to the structure.

d) Flashes near a line connected to the structure can cause:

- failure or malfunction of internal systems due to overvoltages induced on connected lines and transmitted to the structure.

NOTE 1 Malfunctioning of internal systems is not covered by the IEC 62305 series. Refer to IEC 61000-4-5 [5].

NOTE 2 Only the sparks carrying lightning current (total or partial) are regarded as able to trigger fire.

NOTE 3 Lightning flashes, direct to or near the incoming pipelines, do not cause damages to the structure, provided that the pipelines are bonded to the equipotential bar of the structure (see IEC 62305-3).

As a result, four causes of damage can be distinguished:

D_{1T}: electric shock to human beings resulting from resistive and inductive coupling;

D_{1D}: electric shock to human beings resulting from direct strike to those beings;

D₂: dangerous sparking inside the structure triggering fire or explosion or leading to mechanical and chemical effects, or both, which can also endanger the environment;

D₃: surges due to all sources of damage causing failures of internal systems.

5.2 Types of loss

Each cause of damage relevant to the structure to be protected, alone or in combination with others, can produce different types of loss. The type of loss that can appear depends on the characteristics of the structure itself.

For the purposes of the IEC 62305 series, the following types of loss, which can appear as a consequence of lightning flashes, are considered:

L₁: loss due to injury to human beings; it is a consequence of causes D_{1D}, D_{1T}, D₂ and even D₃ in structures where failure of internal systems endangers human life, for example in structures with a risk of explosion and hospitals;

L₂: loss due to physical damage of the structure and its content. It is a consequence of cause D₂, and even D₃ in structures with a risk of explosion;

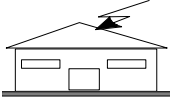
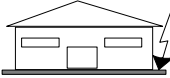
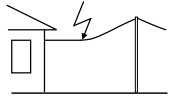
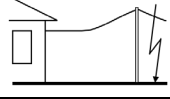
L₃: loss due to failure of internal systems. It is a consequence of cause D₃.

The risk calculation is applicable to all structures when types of loss L_1 , and L_2 , have public relevance.

The type of loss L_3 can unacceptably impair the services provided by internal systems of the structure and can also affect services of public relevance.

The relationship between sources of damage, causes of damage and types of loss is reported in Table 2.

Table 2 – Sources of damage, causes of damage, types of loss according to the point of strike

Point of strike		Source of damage	Cause of damage	Type of loss
Structure		S1	D_{1T}	L_1
			D_{1D}	L_1
			D_2	L_1, L_2
			D_3	L_1^a, L_2^b
Near the structure		S2	D_3	L_1^a, L_2^b
Lines connected to the structure		S3	D_{1T}	L_1
			D_2	L_1, L_2
			D_3	L_1^a, L_2^b
Near the lines connected to the structure		S4	D_3	L_1^a, L_2^b
^a Only for structures where failure of internal systems endangers human life, for example in structures with a risk of explosion and hospitals. ^b Only for structures with a risk of explosion.				

6 Need for lightning protection

6.1 Risk and frequency

The risk R shall be evaluated with reference to the safety of persons (type of loss L_1) and of the structure and its content (type of loss L_2).

The risk R is evaluated as the sum of its risk components depending on the source of damage or type of loss; each risk component may be expressed by the product of

- the number N of dangerous events per annum;
- the probability P of damage;
- the amount L of loss as a consequence of damage.

The frequency of damage F shall be evaluated for the equipment within the structure with reference to the availability of services provided (type of loss L_3).

The frequency of damage F may be evaluated as the sum of partial frequencies of damage depending on the source of damage; each partial frequency of damage is expressed by the product of number N of dangerous events per annum and the probability P of their damage.

NOTE Detailed information on the evaluation of risk, risk components, frequency and frequency components is reported in IEC 62305-2.

6.2 Need for lightning protection for reduction of risk R

Protection against lightning is needed if the risk R is higher than the tolerable level R_T .

$$R > R_T$$

In this case, protection measures shall be adopted in order to reduce the risk R to no more than the tolerable level R_T .

$$R \leq R_T$$

The values of tolerable risk R_T are the responsibility of the authorities having jurisdiction.

NOTE 1 Competent national bodies can provide guidance on whether the risk R is evaluated also in compliance with national laws and regulations.

NOTE 2 An authority having jurisdiction can specify the need for lightning protection for specific applications without requiring a risk assessment. In these cases, the required lightning protection level will be specified by the authority having jurisdiction.

NOTE 3 Detailed information on risk assessment and on the procedure for the selection of protection measures is reported in IEC 62305-2.

6.3 Need for lightning protection for reduction of frequency of damage F

Protection against lightning for the reduction of the frequency F is needed if the frequency of damage F is higher than the tolerable level F_T .

$$F > F_T$$

In this case, protection measures shall be adopted in order to reduce the frequency of damage F to no more than the tolerable level F_T .

$$F \leq F_T$$

The values of tolerable frequency of damage F_T are the responsibility of the authorities having jurisdiction when the service exploited is of public relevance.

In the other cases, evaluating whether or not to reduce the frequency F , as well as fixing the value of tolerable frequency F_T should be under the responsibility of the owner or the manager of the structure.

NOTE 1 Competent national bodies can provide guidance on whether the frequency of damage F is evaluated also in compliance with national laws and regulations.

NOTE 2 An authority having jurisdiction can specify the need for lightning protection for specific applications without requiring a risk assessment. In these cases, the required lightning protection level will be specified by the authority having jurisdiction.

NOTE 3 Detailed information on the frequency of damage assessment and on the procedure for the selection of protection measures is reported in IEC 62305-2.

7 Protection measures

7.1 General

Protection measures may be adopted in order to reduce the risk R and the frequency of damage F .

The most commonly used protection measures are:

- protection measures to reduce injury to human beings by electric shock (see 7.2);
- protection measures to reduce physical damage (see 7.3);
- protection measures to reduce failure of internal systems (see 7.4).

Moreover, provisions activated by means of a thunderstorm warning system (TWS) compliant with IEC 62793 [3] can be used as a preventive measure to reduce the risk R and the frequency F regardless of the type of loss, if appropriate protection measures are applied based on the warning given by a TWS.

NOTE 1 A TWS provides real-time information on atmospheric electrical activity. This provides for the reduction the risk R and the frequency of damage F by means of anticipated temporary preventive measures reducing the exposure time to the threat or cutting off lines conducting surges into the structure or both. In some cases of fast travelling or local formation T-storm, it is possible that the TWS will not always be fast enough to provide a warning signal.

Some examples of appropriate provisions are shown below:

- a) stopping dangerous activity;
- b) transferring people to a safe shelter;
- c) disconnection from external services and use of only local sources.

The circuit breaker disconnection (as from point c) should provide a withstand voltage high enough to avoid sparking-over when lightning surges occur.

If the voltage withstand of the circuit breaker is too low, then additional SPDs upstream of the circuit breaker are necessary. In addition, all lines shall be disconnected for N-conductors or PEN-conductors and this might not be possible due to wiring regulations. Inductive coupling in wiring loops due to S1 and S2 events cannot be reduced by this disconnection and this demands a specific study. In order to protect electrical and electronic systems in case of S3 and S4 events, the monitoring area of the TWS should be able to cover not only the structure but also the incoming lines.

NOTE 2 The advisability of implementing protection measures depends on the characteristics of the activity performed, the human presence in the zones exposed, and the possibility of taking effective preventive actions as a consequence of the information provided by the TWS.

NOTE 3 The reduction of the risk R and of the frequency of damage F by the use of a TWS and the amount of their reduction is evaluated by the lightning protection designer according to a plan of action of the protection measures to be undertaken in coordination with the TWS.

NOTE 4 More information on the provisions and actions to reduce different risk components is reported in IEC 62305-2:2024, Annex B.

7.2 Protection measures to reduce injury to human beings by electric shock

Possible protection measures include:

- lightning protection system (LPS);
- adequate insulation of exposed conductive parts;
- equipotentialization;
- physical restrictions and warning notices.

NOTE Equipotentialization and an increase in the contact resistance of the ground surface inside and outside the structure reduce the life hazard (see IEC 62305-3:2024, Clause 8).

7.3 Protection measures to reduce physical damage

Protection is achieved by the lightning protection system (LPS) complying with IEC 62305-3.

NOTE 1 When an LPS is installed, equipotentialization is a measure that reduces fire and explosion danger and life hazard. For more details see IEC 62305-3.

NOTE 2 Provisions limiting the development and propagation of the fire such as fireproof compartments, extinguishers, hydrants, fire alarms and fire extinguishing installations can reduce physical damage.

7.4 Protection measures to reduce failure of internal systems

Surge protection measures (SPM) complying with IEC 62305-4 include:

- earthing and bonding measures,
- electromagnetic shielding,
- line routing,
- isolating interfaces,
- coordinated SPD systems.

These measures may be used alone or in combination.

NOTE 1 When source of damage S1 is considered, protection measures are effective only in structures protected by an LPS or structures with continuous metal or reinforced concrete framework acting as a natural LPS.

NOTE 2 For sources of damage S1 and S3, the withstand level of the isolating interface can be inadequate in some cases.

7.5 Protection measures selection

The protection measures listed in 7.2, 7.3 and 7.4 together form the overall lightning protection.

Selection of the most suitable protection measures shall be made by the designer of the protection measures, the owner of the structure to be protected according to the type, the amount of each type of loss, the technical and economic aspects of the different protection measures and the results of risk assessment.

The criteria for risk R assessment, for frequency F assessment and for the selection of the most suitable protection measures are given in IEC 62305-2.

Protection measures are effective provided that they comply with the requirements of relevant standards and are able to withstand the stress expected in the place of their installation.

8 Basic criteria for protection of structures

8.1 General

An ideal protection for structures would be to enclose the structure to be protected within an earthed and perfectly conducting continuous shield of adequate thickness, and to provide adequate bonding at the entrance point into the shield of the lines connected to the structure.

This would prevent the penetration of lightning current and related electromagnetic field into the structure to be protected and prevent dangerous thermal and electrodynamic effects of current, as well as dangerous sparking and overvoltages for internal systems.

In practice, it is often neither possible nor cost effective to go to such measures to provide such full protection.

Lack of continuity of the shield or its inadequate thickness, or both, allows the lightning current to penetrate the shield causing:

- physical damage and life hazard;
- failure of internal systems.

8.2 Lightning protection levels (LPLs)

Protection measures, adopted to reduce such damages and relevant consequential loss, shall be designed for the defined set of lightning current parameters against which protection is required (lightning protection level).

For the purposes of the IEC 62305 series, four lightning protection levels (I to IV) are introduced. For each LPL, a set of maximum and minimum lightning current parameters is fixed.

The LPL is normally selected as the result of a risk assessment.

NOTE 1 Protection against lightning whose maximum and minimum lightning current parameters exceed those relevant to LPL I can require more efficient measures which are selected and erected on an individual basis but always following these standards.

NOTE 2 The probability of occurrence of lightning with minimum or maximum current parameters outside the range of values defined for LPL I is less than 2 %.

The maximum values of lightning current parameters relevant to LPL I are expected to be exceeded with a probability of no more than 1 %. Positive flashes are expected to exceed the given maximum values in no more than 10 % of positive flashes and those from negative flashes in no more than 1 % of negative flashes. On the assumption that positive flashes constitute no more than about 10 % of flashes (see Clause A.2), the combination of positive and negative flashes results in the expectation that no more than 1 % of flashes will exceed the tabled maximum values of parameters (see Clause A.3). The maximum values of lightning current parameters relevant to LPL I are reduced to 75 % for LPL II and to 50 % for LPL III and LPL IV (following a linear regression from LPL I values in I , Q and di/dt , but quadratic for W/R). The time parameters are unchanged.

NOTE 3 Lightning protection levels whose maximum lightning current parameters are lower than those relevant to LPL IV enable one to consider values of probability of damage higher than those presented in IEC 62305-2:2024, Annex B, and are useful for better tailoring of protection measures in order to avoid unjustified costs.

The maximum values of lightning current parameters for the different lightning protection levels are given in Table 3 and are used to design lightning protection components (e.g. cross-section of conductors, thickness of metal sheets, current capability of SPDs, separation distance against dangerous sparking) and to define test parameters simulating the effects of lightning on such components (see Annex D).

Table 3 – Maximum values of lightning parameters according to LPLs

Current parameters		Symbol	Unit	LPL			
				I	II	III	IV
First positive short stroke	Peak current	I	kA	200	150	100	
	Charge	Q_{SHORT}	C	100	75	50	
	Specific energy	W/R	MJ/Ω	10	5,6	2,5	
	Time parameters	T_1/T_2	μs/μs	10 / 350			
First negative short stroke ^a	Peak current	I	kA	100	75	50	
	Average steepness	di/dt	kA/μs	100	75	50	
	Time parameters	T_1/T_2	μs/μs	1 / 200			
Subsequent short stroke	Peak current	I	kA	50	37,5	25	
	Average steepness	di/dt	kA/μs	200	150	100	
	Time parameters	T_1/T_2	μs/μs	0,25 / 100			
Long stroke	Charge	Q_{LONG}	C	200	150	100	
	Time parameter	T_{LONG}	s	0,5			
Flash	Charge	Q_{FLASH}	C	300	225	150	

^a The first negative stroke relates only to calculations and not testing.

NOTE 4 For practical purposes each LPL has been assigned a probability value. Where a more detailed analysis, the values derived from the CIGRE in Clause A.2 can be used [6].

The minimum values of lightning peak current amplitude for the different LPLs are used to derive the rolling sphere radius (see Clause A.4) in order to define the lightning protection zone LPZ 0_B which is considered protected from a direct strike (see 8.3 and Figure 2 and Figure 3). The minimum values of lightning current parameters together with the related rolling sphere radius are given in Table 4. They are used for positioning of the air-termination system and to define the lightning protection zone LPZ 0_B (see 8.3).

Table 4 – Minimum values of lightning parameters and related rolling sphere radius corresponding to LPLs

Interception criteria			LPL			
	Symbol	Unit	I	II	III	IV
Minimum peak current	I	kA	3	5	10	16
Rolling sphere radius	r	m	20	30	45	60

From the statistical distributions given in Figure A.5, a weighted probability that the lightning current parameters are smaller than the maximum values and respectively greater than the minimum values defined for each protection level (see Table 5) can be determined.

Table 5 – Probabilities for the limits of the lightning current parameters

Probability that lightning current parameters	LPL			
	I	II	III	IV
– are smaller than the maximum values defined in Table 3	0,99	0,98	0,95	0,95
– are greater than the minimum values defined in Table 4	0,99	0,97	0,91	0,84

The protection measures specified in IEC 62305-3 and IEC 62305-4 are effective against lightning whose current parameters are in the range defined by the LPL assumed for design. Therefore, the efficiency of a protection measure is assumed to be equal to the probability with which lightning current parameters are inside such a range. For parameters exceeding this range, a residual risk of damage remains.

NOTE 5 The values in Table 5 reflect a conservative approach. Specific studies based on the rules and parameters of this document taking into account individual parameters (e.g. the real size of the structure, location and height of air-termination systems, current sharing) can lead to higher efficiency values.

8.3 Lightning protection zones (LPZs)

Protection measures such as LPSs, shielding wires, magnetic shields and SPDs determine lightning protection zones (LPZs).

LPZs downstream of the protection measure are characterized by significant reduction of LEMP compared to the LPZ upstream.

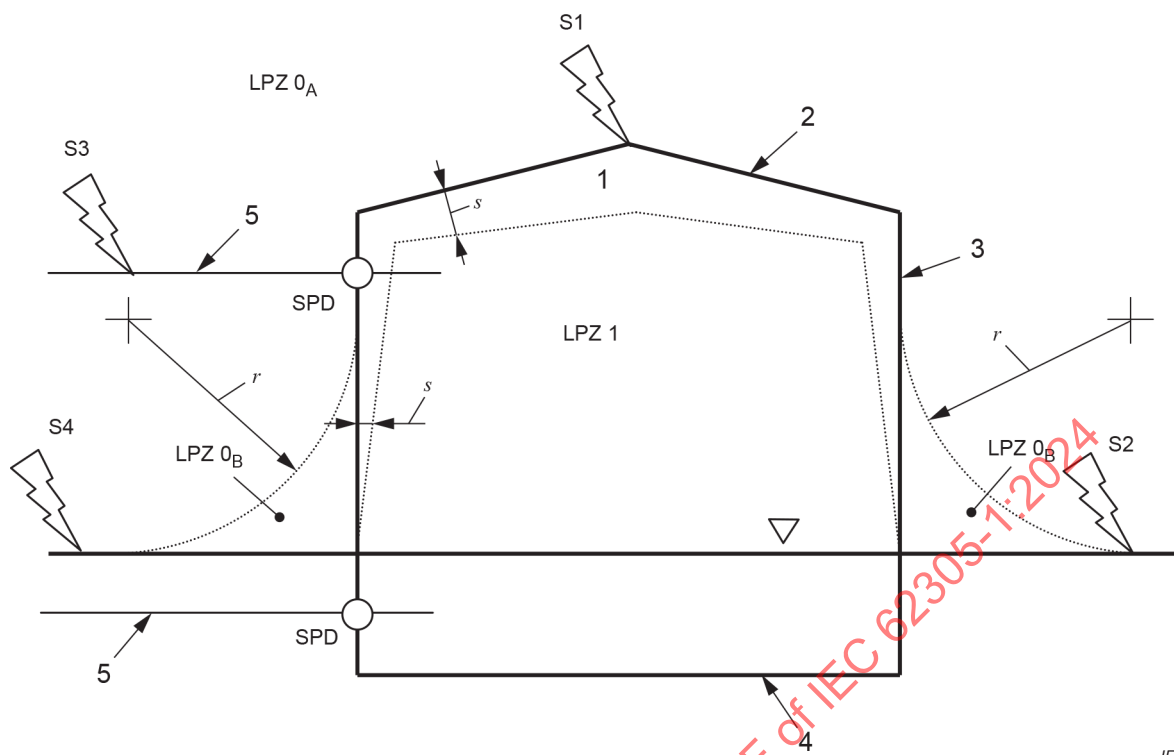
With respect to the threat of lightning, the following LPZs are defined (see Figure 2 and Figure 3):

- | | |
|----------------------|---|
| LPZ 0 _A | zone where the threat is due to the direct lightning flash and the full lightning electromagnetic field. The internal systems can be subjected to full or partial lightning surge current; |
| LPZ 0 _B | zone protected against direct lightning flashes but where the threat is the full lightning electromagnetic field. The internal systems can be subjected to partial lightning surge currents; |
| LPZ 1 | zone where the surge current is limited by current sharing and by isolating interfaces or SPDs at the boundary or both. Spatial shielding can attenuate the lightning electromagnetic field; |
| LPZ 2, ..., <i>n</i> | zone where the surge current can be further limited by current sharing and by isolating interfaces or additional SPDs at the boundary or both. Additional spatial shielding may be used to further attenuate the lightning electromagnetic field. |

NOTE 1 In general, the higher the number of an individual zone, the lower the electromagnetic environment parameters.

As a general rule for protection, the structure to be protected shall be in an LPZ whose electromagnetic characteristics are compatible with the capability of the structure to withstand stress causing the damage to be reduced (physical damage, failure of electrical and electronic systems due to overvoltages).

NOTE 2 For most electrical and electronic systems and apparatus, information about withstand level is supplied by the manufacturer.



IEC

Key

1	structure	S1	flash to the structure
2	air-termination system	S2	flash near the structure
3	down-conductor system	S3	flash to a line connected to the structure
4	earth-termination system	S4	flash near a line connected to the structure
5	incoming lines	r	rolling sphere radius
		s	separation distance against dangerous sparking (see IEC 62305-3:2024, 6.3 and Annex B)

▽ ground level

○ lightning equipotential bonding by means of SPD

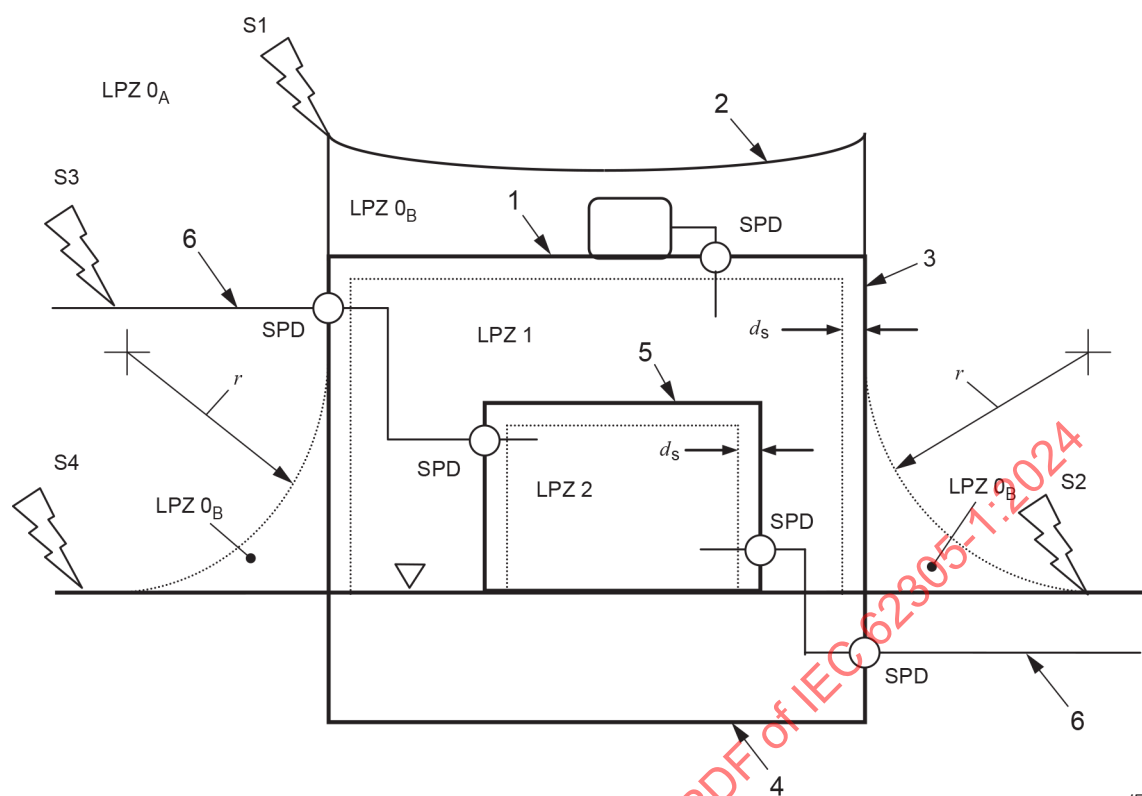
LPZ 0_A direct flash, full lightning current

LPZ 0_B no direct flash, partial lightning or induced current

LPZ 1 no direct flash, limited lightning or induced current

The protected volume inside LPZ 1 shall respect separation distance s .

Figure 2 – LPZ defined by an LPS (IEC 62305-3)



IEC

Key

- | | | | |
|---|----------------------------------|-------|---|
| 1 | structure (shield of LPZ 1) | S1 | flash to the structure |
| 2 | air-termination system | S2 | flash near to the structure |
| 3 | down-conductor system | S3 | flash to a line connected to the structure |
| 4 | earth-termination system | S4 | flash near a line connected to the structure |
| 5 | room (shield of LPZ 2) | r | rolling sphere radius |
| 6 | lines connected to the structure | d_s | safety distance against a too high magnetic field (see IEC 62305-4:2024, Annex A) |

 ground level

lightning equipotential bonding by means of SPD

LPZ 0_A direct flash, full lightning current, full magnetic field

LPZ 0_R no direct flash, partial lightning or induced current, full magnetic field

LPZ 1 no direct flash, limited lightning or induced current, damped magnetic field

LPZ 2 no direct flash, induced currents, further damped magnetic field

Protected volumes inside LPZ 1 and LPZ 2 shall respect safety distances d_s .

Figure 3 – LPZ defined by LPS and SPM (IEC 62305-4)

8.4 Protection of structures

8.4.1 Protection to reduce physical damage and life hazard

The structure to be protected shall be inside an LPZ 0_B or higher. This is achieved by means of a lightning protection system (LPS).

An LPS consists of both external and internal lightning protection systems.

The functions of the external LPS are

- to intercept a lightning flash to the structure (with an air-termination system),
- to conduct the lightning current safely to earth (with a down-conductor system),
- to disperse it into the earth (with an earth-termination system).

NOTE Research indicates that the lightning channel termination point during a subsequent stroke can be up to a few metres away from the original (first stroke) termination point in some cases (multi-stroke flash, strong wind). However, the probability is low that a structure gets damaged by such a phenomenon when an LPS according to IEC 62305-3 is installed. A large continuing current flows right after the first stroke to keep the plasma channel alive. This phenomenon can be considered thanks to a specific study that includes wind direction and possible attachment points. Possible solutions are: additional air terminals, isolated LPS or increased length of air terminals.

The function of the internal LPS is to prevent dangerous sparking within the structure, using equipotential bonding or a separation distance, s , (and hence electrical isolation) between the LPS components and other electrically conducting elements internal to the structure.

Four classes of LPS (I, II, III and IV) are defined as a set of construction rules, based on the corresponding LPL. Each set includes level-dependent (e.g. rolling sphere radius, mesh width) and level-independent (e.g. cross-sections, materials) construction rules.

Where surface resistivity of the soil outside and of the floor inside the structure is low, life hazard due to touch and step voltages is reduced:

- outside the structure, by insulation of the exposed conductive parts, by equipotentialization of the soil by means of a meshed earthing system, by warning notices or by physical restrictions;
- inside the structure, by equipotential bonding of lines at the entrance points into the structure.

The LPS shall comply with the requirements of IEC 62305-3.

8.4.2 Protection to reduce the failure of internal systems

The protection against LEMP to reduce the frequency of failure of internal systems shall limit

- surges due to lightning flashes to the structure resulting from resistive and inductive coupling,
- surges due to lightning flashes near the structure resulting from inductive coupling,
- surges transmitted by lines connected to the structure due to flashes to or near the lines,
- electromagnetic fields directly coupling with the apparatus.

NOTE Failure of the apparatus due to electromagnetic fields directly radiated into the equipment is negligible provided that the apparatus complies with radiofrequency (RF) radiated emission and immunity tests defined by relevant EMC product standards (see IEC 62305-2 and IEC 62305-4).

The system to be protected shall be located inside an LPZ 1 or higher. This is achieved by means of electrical and electronic surge protection measures (SPM) consisting of magnetic shields attenuating the inducing magnetic field or suitable routing of wiring to reduce the induction loop, or both. Bonding shall be provided at the boundaries of an LPZ for metal parts and systems crossing the boundaries. This bonding may be accomplished by means of bonding conductors or, when necessary, by surge protective devices (SPDs).

The protection measures for any LPZ shall comply with IEC 62305-4.

Effective protection against overvoltages, causing failures of internal systems, may also be achieved by means of isolating interfaces or a coordinated SPD system, limiting overvoltages below the rated impulse voltage of the system to be protected, or both.

Isolating interfaces and SPDs shall be selected and installed according to the requirements of IEC 62305-4.

Annex A (informative)

Parameters of lightning current

A.1 Lightning flashes to earth

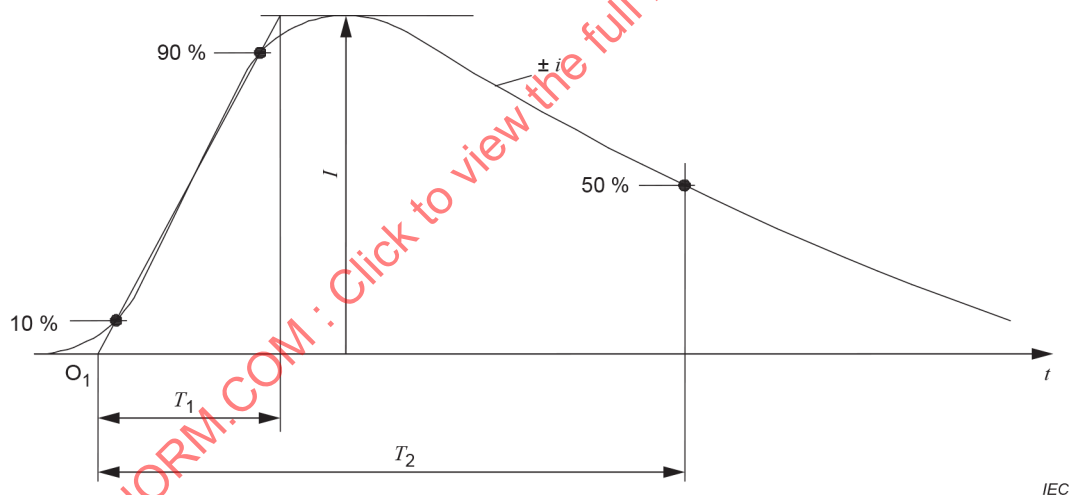
Two basic types of flashes exist:

- downward flashes initiated by a downward leader from cloud to earth;
- upward flashes initiated by an upward leader from an earthed structure to cloud.

Downward flashes occur mostly in flat territory, and to lower structures, whereas for exposed or higher structures, or both, upward flashes become dominant. With effective height, the probability of a direct strike to the structure increases (see IEC 62305-2:2024, Annex A) and the physical conditions change.

A lightning flash can consist of one or more different strokes:

- short strokes with a duration less than 2 ms (Figure A.1);
- long strokes with a duration longer than 2 ms (Figure A.2).



Key

O_1 virtual origin of impulse current (Point of intersection with the time axis of a straight line drawn through the 10 % and the 90 % reference points on the stroke current front; it precedes by $0,1 T_1$ that instant at which the current attains 10 % of its peak value)

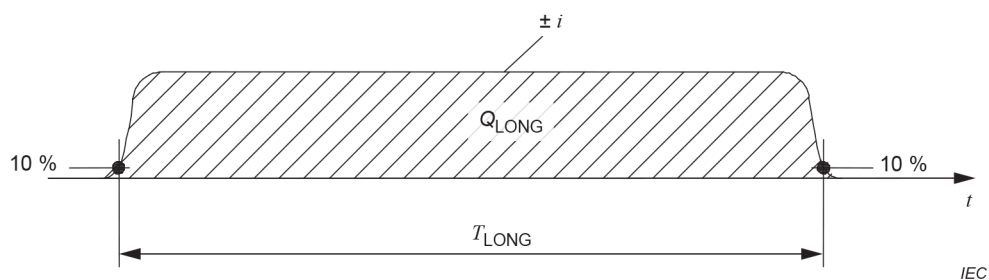
I peak current

i instantaneous value

T_1 front time of impulse current

T_2 time to half value on the tail of impulse current (typically $T_2 < 2$ ms)

Figure A.1 – Definitions of impulse current parameters according to IEC 62475 [7]



Key

T_{LONG} duration of long stroke current (typically $2 \text{ ms} < T_{\text{LONG}} < 1 \text{ s}$)

Q_{LONG} long stroke charge

Figure A.2 – Definitions of long duration stroke parameters

Further differentiation of strokes comes from their polarity (positive or negative) and from their position during the flash (first, subsequent, and superimposed). The schematic representation of possible components of the lightning current are shown in Figure A.3 for downward flashes and multiple strokes downward flashes, in Figure A.4 for upward flashes.

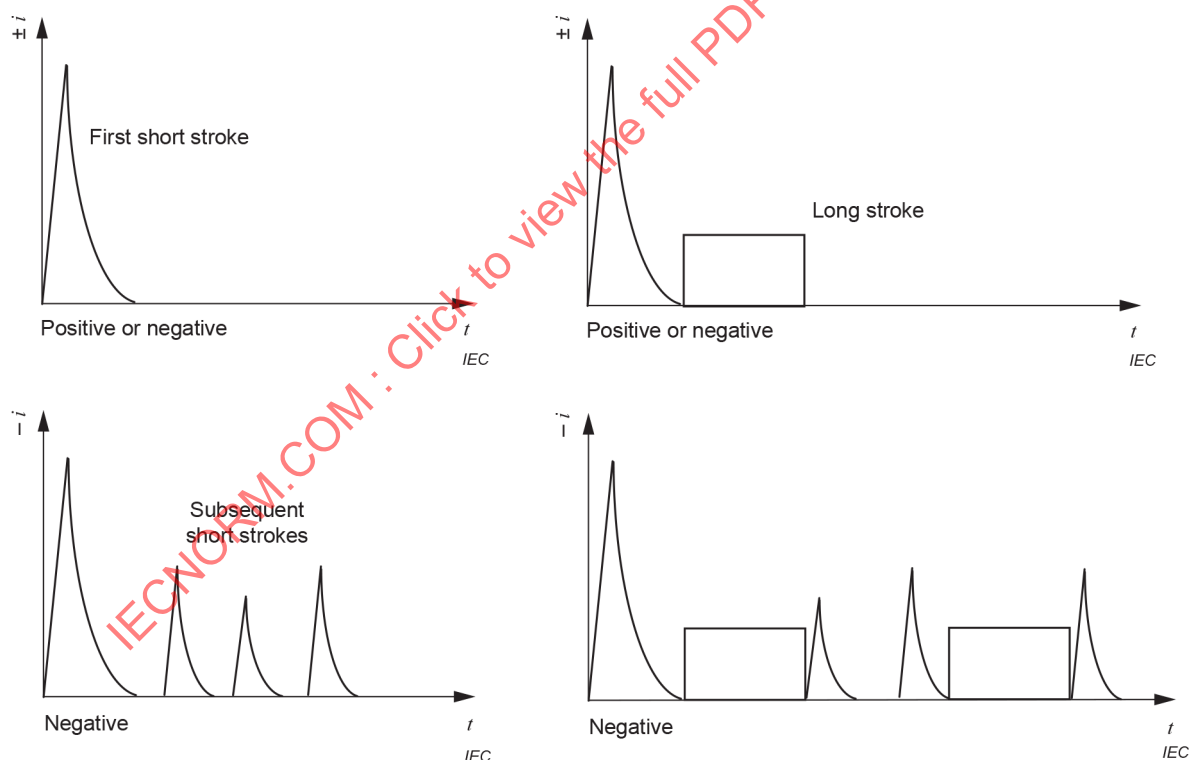


Figure A.3 – Schematic representation (not to scale) of possible components of downward flashes (typical in flat territory and to lower structures) and multiple strokes downward flashes

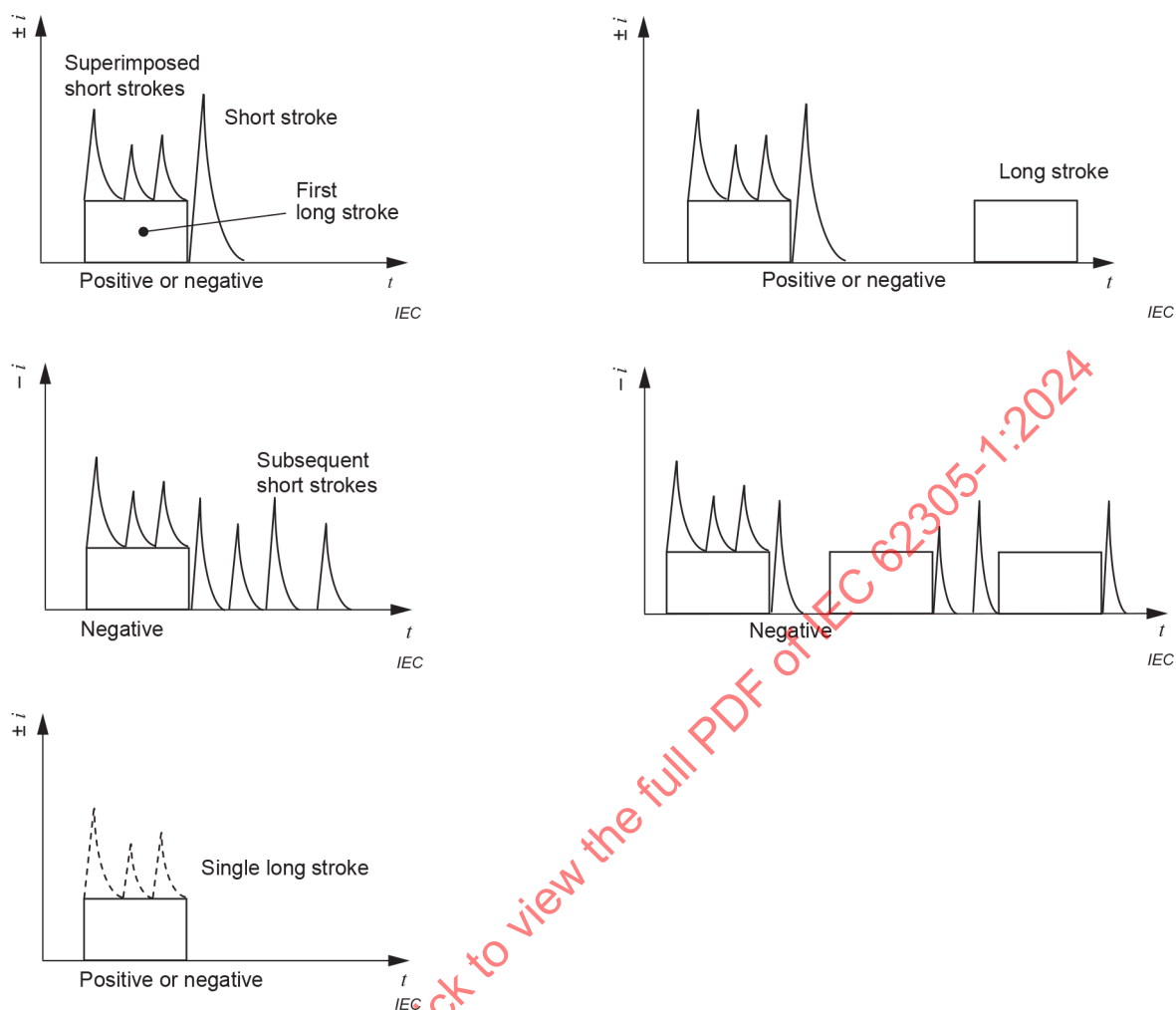


Figure A.4 – Schematic representation (not to scale) of possible components of upward flashes (typical of exposed or higher structures or both)

The additional component in upward flashes is the first long stroke with or without up to some ten superimposed impulses. But all impulse current parameters of upward flashes are lower than those of downward flashes. A higher long stroke charge of upward flashes is not yet confirmed. Therefore, the lightning current parameters of upward flashes are considered to be covered by the maximum values given for downward flashes.

NOTE IEC 61400-24 [4] includes information about higher long stroke charge of upward flashes, especially in areas with high winter lightning activity. It includes a methodology to estimate the average annual flashes or strokes to wind turbines and upward lightning activity in wind turbines.

A.2 Lightning current parameters

The lightning current parameters in this document are based on the results of the International Council on Large Electrical Systems (CIGRE) data given in Table A.1. Their statistical distribution can be assumed to have a logarithmic normal distribution. The corresponding mean value μ and the dispersion $\sigma_{\log}$ are given in Table A.2 and the distribution function is shown in Figure A.5. On this basis, the probability of occurrence of any value of each parameter can be determined.

NOTE 1 Further information on lightning current parameters is contained in the ICLP 2008 paper by Heidler et al [8].

A polarity ratio of 10 % positive and 90 % negative flashes is assumed. The real polarity ratio is a function of the territory. If no local information is available, the ratio given herein should be used.

The value of the probability of occurrence of lightning current peak values of first negative short stroke and first positive short stroke exceeding the previously considered value are reported in Table A.3.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62305-1:2024

Table A.1 – Tabulated values of lightning current parameters (CIGRE [9], [10], [11])

Parameter	Fixed values for LPL I	Values			Type of stroke	Line in Figure A.5
		95 %	50 %	5 %		
I (kA)		4 ^a	20 ^a	90	First negative short ^b	1A + 1B
	50	4,9	11,8	28,6	Subsequent negative short ^b	2
	200	4,6	35	250	First positive short (single)	3
Q_{FLASH} (C)		1,3	7,5	40	Negative flash	4
	300	20	80	350	Positive flash	5
$Q_{\text{SHORT STROKE}}$ (C)		1,1	4,5	20	First negative short	6
		0,22	0,95	4	Subsequent negative short	7
	100	2	16	150	First positive short (single)	8
W/R (kJ/Ω)		6	55	550	First negative short	9
		0,55	6	52	Subsequent negative short	10
	10 000	25	650	15 000	First positive short	11
di/dt_{max} (kA/μs)		9,1	24,3	65	First negative short ^b	12
		9,9	39,9	161,5	Subsequent negative short ^b	13
	20	0,2	2,4	32	First positive short	14
$di/dt_{30\%/90\%}$ (kA/μs)	200	4,1	20,1	98,5	Subsequent negative short ^b	15
$Q_{\text{LONG STROKE}}$ (C)	200				Long	
$T_{\text{LONG STROKE}}$ (s)	0,5				Long	
Front duration (μs)		1,8	5,5	18	First negative short	
		0,22	1,1	4,5	Subsequent negative short	
		3,5	22	200	First positive short (single)	
Stroke duration (μs)		30	75	200	First negative short	
		6,5	32	140	Subsequent negative short	
		25	230	2 000	First positive short (single)	
Time interval between strokes (ms)		7	33	150	Multiple negative strokes	
Total flash duration (ms)		0,15	13	1 100	Negative flash (all)	
		31	180	900	Negative flash (without single)	
		14	85	500	Positive flash	

NOTE Values given for $Q_{\text{LONG STROKE}}$ and T_{LONG} are related to downward strikes only. $Q_{\text{LONG STROKE}} = Q_{\text{FLASH}} - Q_{\text{SHORT STROKE}}$, so there is no statistical values given in this Table A.1.

^a The values of $I = 4$ kA and $I = 20$ kA correspond to a probability of 98 % and 80 %, respectively.

^b Parameters and relevant values are reported in [10].

Table A.2 – Logarithmic normal distribution of lightning current parameters – Mean μ and dispersion $\sigma_{\log}$ calculated from 5 % and 95 % values (CIGRE [9], [10], [11])

Parameter	Mean μ	Dispersion ^a $\sigma_{\log}$	Stroke type	Line in Figure A.5
I (kA)	(61,1)	0,576	First negative short (80 %) ^b	1A
	33,3	0,263	First negative short (80 %) ^b	1B
	11,8	0,233	Subsequent negative short ^b	2
	33,9	0,527	First positive short (single)	3
Q_{FLASH} (C)	7,21	0,452	Negative flash	4
	83,7	0,378	Positive flash	5
$Q_{\text{SHORT STROKE}}$ (C)	4,69	0,383	First negative short	6
	0,938	0,383	Subsequent negative short	7
	17,3	0,570	First positive short (single)	8
W/R (kJ/ Ω)	57,4	0,596	First negative short	9
	5,35	0,600	Subsequent negative short	10
	612	0,844	First positive short	11
di/dt_{max} (kA/ μ s)	24,3	0,260	First negative short ^b	12
	40,0	0,369	Subsequent negative short ^b	13
	2,53	0,670	First positive short	14
$di/dt_{30\%/90\%}$ (kA/ μ s)	20,1	0,420	Subsequent negative short ^b	15
$Q_{\text{LONG STROKE}}$ (C) ^c			Long	
$T_{\text{LONG STROKE}}$ (s) ^c			Long	
Front duration (μ s)	5,69	0,304	First negative short	
	0,995	0,398	Subsequent negative short	
	26,5	0,534	First positive short (single)	
Stroke duration (μ s)	77,5	0,250	First negative short	
	30,2	0,405	Subsequent negative short	
	224	0,578	First positive short (single)	
Time interval between strokes (ms)	32,4	0,405	Multiple negative strokes	
Total flash duration (ms)	12,8	1,175	Negative flash (all)	
	167	0,445	Negative flash (without single)	
	83,7	0,472	Positive flash	

^a $\sigma_{\log}$ is the value that indicates the dispersion around the logarithmic mean value of the log-normal distribution of the parameter. Integral $(-\sigma_{\log}, +\sigma_{\log})$ [log-normal distribution] = 68,2 %.

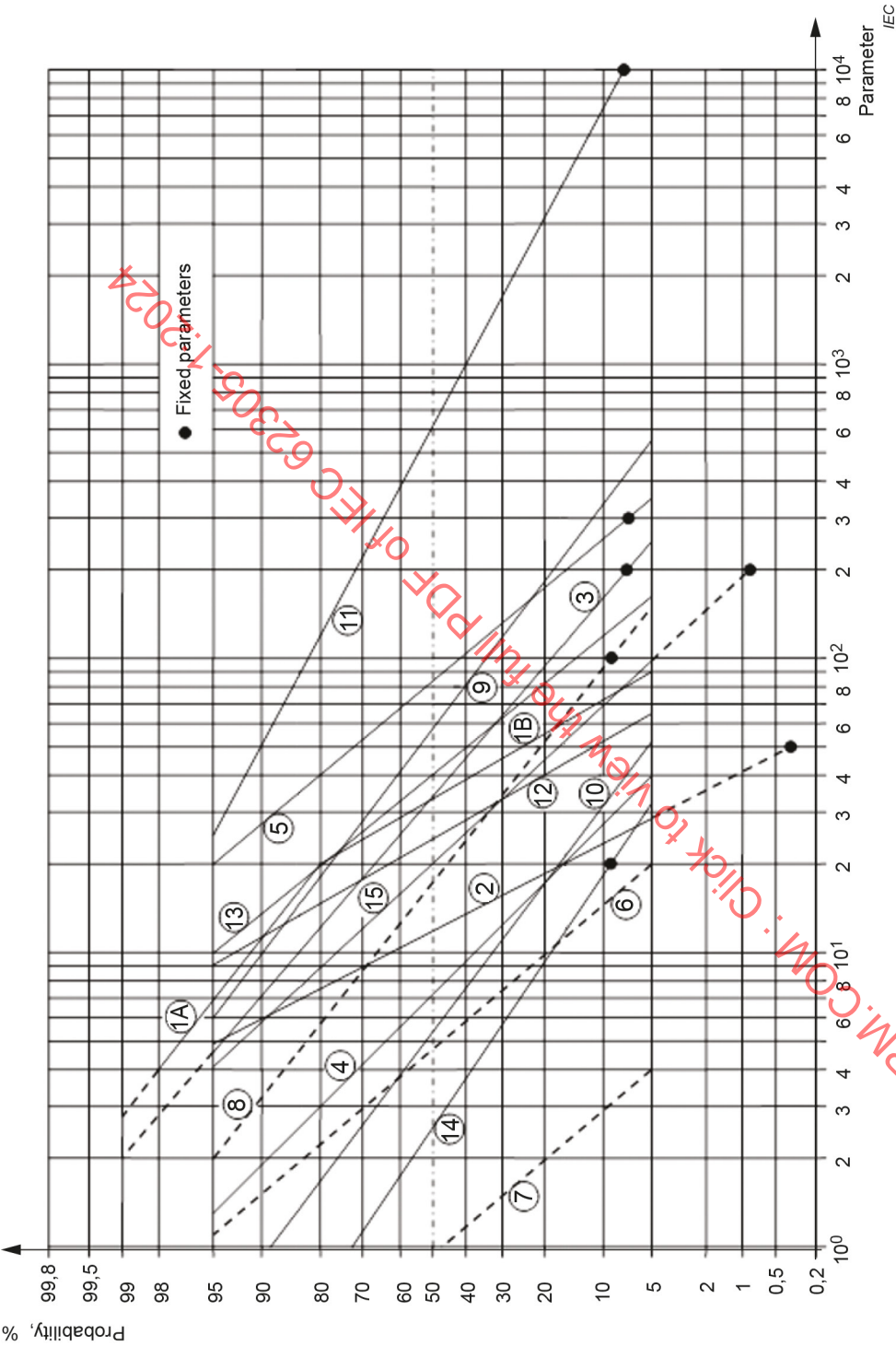
^b Parameters and relevant values are reported in [10].

^c For the value refer to [12].

Table A.3 – Values of probability P as function of the lightning current I peak value

I kA	P
0	1
3	0,99
5	0,95
10	0,91
20	0,8
30	0,6
35	0,5
40	0,4
50	0,3
60	0,2
80	0,1
100	0,05
150	0,02
200	0,01

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62305-1:2024



NOTE For numbering of curves see Table A.1 and Table A.2.

Figure A.5 – Cumulative frequency distribution of lightning current parameters (dotted line through 50 % value)

All values fixed for LPLs given in this document relate to both downward and upward flashes.

NOTE 2 The value of lightning parameters is usually obtained from measurement taken on tall structures. Statistical distribution of roughly estimated lightning current peak values that does not consider the effect of tall structures is also available from lightning location systems.

A.3 Fixing the maximum lightning current parameters for LPL I

A.3.1 General

The mechanical effects of lightning are related to the peak value of the current (I), and to the specific energy (W/R). The thermal effects are related to the specific energy (W/R) when resistive coupling is involved and to the charge (Q) when arcs develop in the installation. Overvoltages and dangerous sparking caused by inductive coupling are related to the average steepness (di/dt) of the current front.

Each of the single parameters (I , Q , W/R , di/dt) tend to dominate each failure mechanism. This shall be taken into account when establishing test procedures.

A.3.2 First positive stroke and long stroke

The values of I , Q (as flash charge and short stroke charge) and W/R related to mechanical and thermal effects are determined from positive flashes (because their 10 % values are much higher than the corresponding 1 % values of the negative flashes). From Figure A.5 (lines 3, 5, 8, 11 and 14) the following values with probabilities below 10 % can be taken:

I	= 200 kA
Q_{FLASH}	= 300 C
Q_{SHORT}	= 100 C
W/R	= 10 MJ/ Ω
di/dt	= 20 kA/ μ s

For a first positive stroke according to Figure A.1, the following values give a first approximation for the front time:

$$T_1 = I / (di/dt) = 10 \mu\text{s} \quad (T_1 \text{ is of minor interest})$$

For an exponentially decaying stroke, the following formulae for approximate charge and energy values apply ($T_1 \ll T_2$):

$$Q_{\text{SHORT}} = (1 / 0,7) \times I \times T_2$$

$$W/R = (1/2) \times (1 / 0,7) \times I^2 \times T_2$$

These formulae, together with the values given above, lead to a first approximation for the time to half value:

$$T_2 = 350 \mu\text{s}$$

For the long stroke, its charge can be approximately calculated from:

$$Q_{\text{LONG}} = Q_{\text{FLASH}} - Q_{\text{SHORT}} = 200 \text{ C}$$

Its duration time, according to Figure A.2, may be estimated from data in Table A.1 as:

$$T_{\text{LONG}} = 0,5 \text{ s}$$

A.3.3 First negative stroke

For some inductive coupling effects, the impact of the first negative stroke leads to the highest induced voltages due to high amplitude and long duration of current, e.g. for cables within cable ducts made of reinforced concrete. From Figure A.5 (lines 1 and 12) the following values with probabilities below 1 % can be taken:

$$I = 100 \text{ kA}$$

$$di/dt = 100 \text{ kA}/\mu\text{s}$$

For a first negative stroke according to Figure A.1, these values give a first approximation for its front time of:

$$T_1 = I / (di/dt) = 1,0 \mu\text{s}$$

Its time to half value may be estimated from the duration of first negative strokes:

$$T_2 = 200 \mu\text{s} \quad (T_2 \text{ is of minor interest}).$$

A.3.4 Subsequent stroke

The maximum value of the average steepness of the current front, di/dt , related to the dangerous sparking caused by inductive coupling is determined from subsequent strokes of negative flashes (because their 1 % values are somewhat higher than the 1 % values from first negative strokes or the corresponding 10 % values of the positive flashes). From Figure A.5 (lines 2 and 15) the following values with probabilities below 1 % can be taken:

$$I = 50 \text{ kA}$$

$$di/dt = 200 \text{ kA}/\mu\text{s}$$

For a subsequent stroke according to Figure A.1, these values give a first approximation for its front time of:

$$T_1 = I / (di/dt) = 0,25 \mu\text{s}$$

Its time to half value may be estimated from the duration of negative subsequent strokes:

$$T_2 = 100 \mu\text{s} \quad (T_2 \text{ is of minor interest}).$$

A.4 Fixing the minimum lightning current parameters

The interception efficiency of an air-termination system depends on the minimum lightning current parameters and on the related rolling sphere radius. The geometrical boundary of areas which are protected against direct lightning flashes can be determined using the rolling sphere method.

Following the electro-geometric model, the rolling sphere radius r (final jump distance) is correlated with the peak value of the first stroke current. In an IEEE working group report [13], the relation is given as

$$r = 10 \times I^{0,65} \quad (\text{A.1})$$

where

r is the rolling sphere radius (m);

I is the peak current (kA).

For a given rolling sphere radius r , it can be assumed that all flashes with peak values higher than the corresponding minimum peak value I will be intercepted by natural or dedicated air terminations. Therefore, the probability for the peak values of negative and positive first strokes from Figure A.5 (lines 1A and 3) is assumed to be the interception probability. Taking into account the polarity ratio of 10 % positive and 90 % negative flashes, the total interception probability can be calculated (see Table 5).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62305-1:2024

Annex B (informative)

Time functions of the lightning current for analysis purposes

The current shapes of

- the first positive impulse 10/350 µs,
- the first negative impulse 1/200 µs,
- the subsequent negative impulses 0,25/100 µs,

may be defined as:

$$i = \frac{I}{k} \times \frac{(t / \tau_1)^{10}}{1 + (t / \tau_1)^{10}} \times \exp(-t / \tau_2) \quad (\text{B.1})$$

where

I is the peak current;

k is the correction factor for the peak current;

t is the time;

τ_1 is the front time constant;

τ_2 is the tail time constant.

For the current shapes of the first positive stroke, the first negative stroke and the subsequent negative strokes for different LPLs, the parameters given in Table B.1 apply. The analytic curves as function of time are shown in Figure B.1 to Figure B.6.

NOTE 1 The maximum di/dt -values of the time functions are greater than the standardized values specified in Clause A.3 (see Figure B.1, Figure B.3 and Figure B.5).

Table B.1 – Parameters for Equation (B.1)

Parameters	First positive stroke			First negative stroke			Subsequent negative stroke		
	LPL			LPL			LPL		
	I	II	III to IV	I	II	III to IV	I	II	III to IV
I (kA)	200	150	100	100	75	50	50	37,5	25
k	0,93	0,93	0,93	0,986	0,986	0,986	0,993	0,993	0,993
τ_1 (µs)	19	19	19	1,82	1,82	1,82	0,454	0,454	0,454
τ_2 (µs)	485	485	485	285	285	285	143	143	143

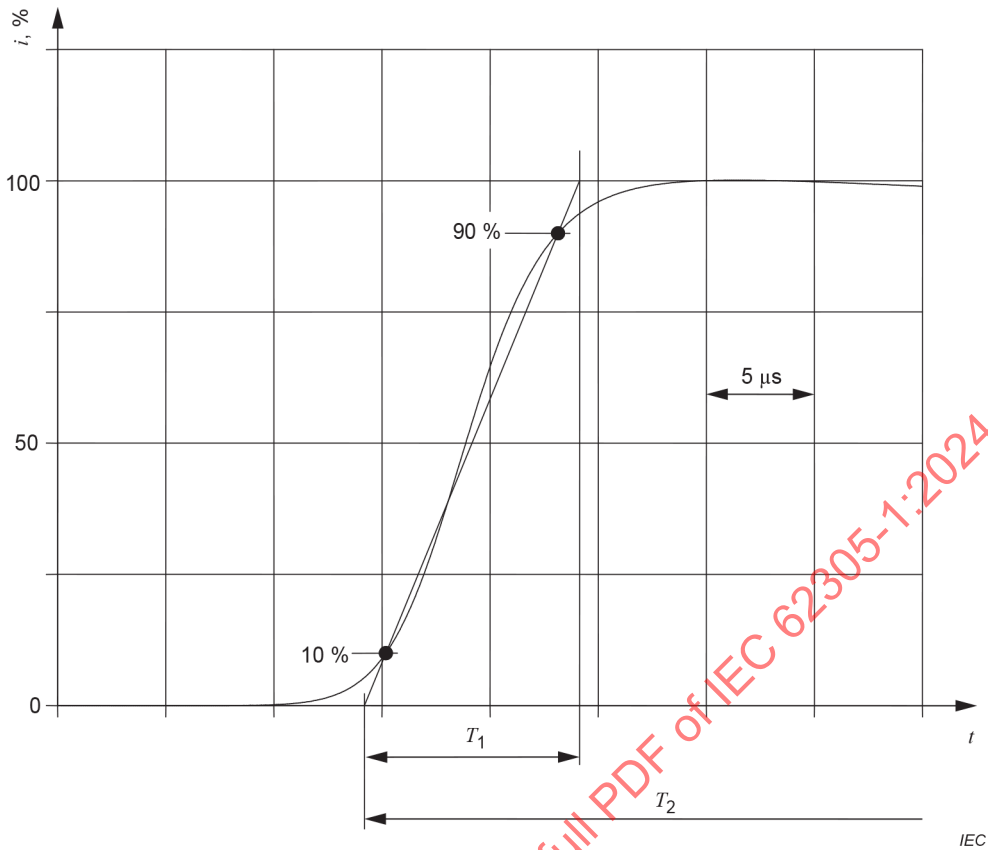


Figure B.1 – Shape of the current rise of the first positive stroke

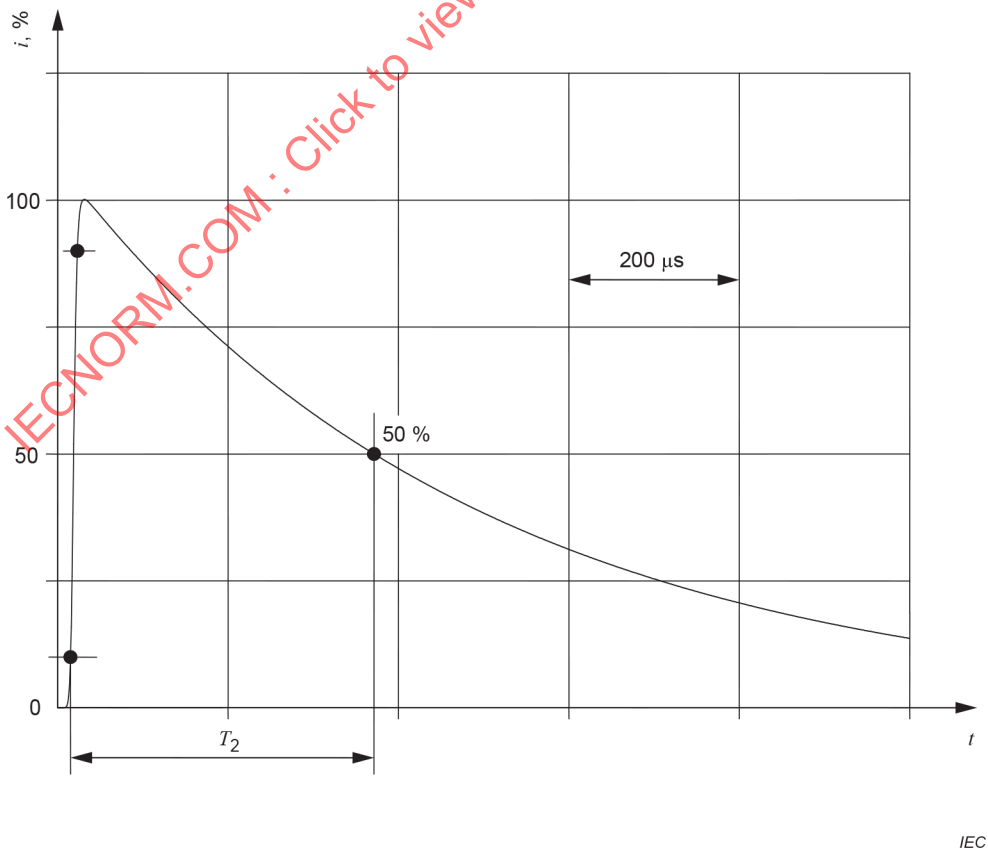


Figure B.2 – Shape of the current tail of the first positive stroke

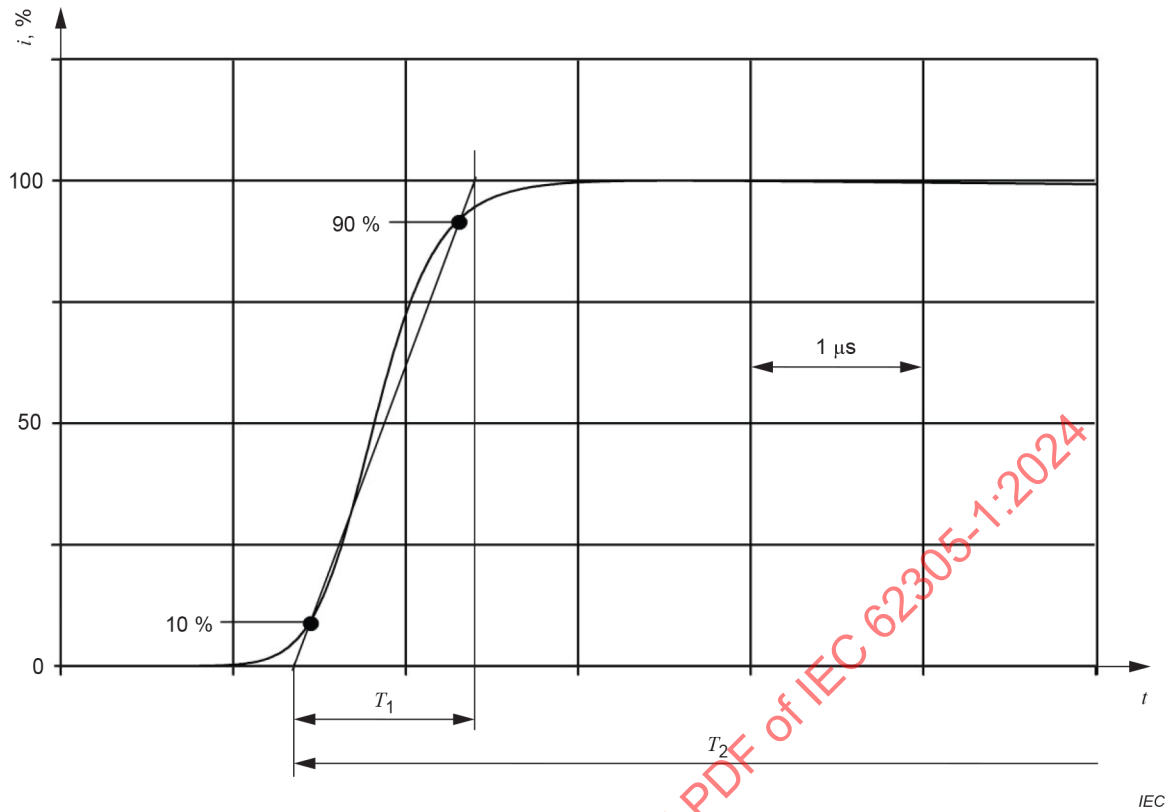


Figure B.3 – Shape of the current rise of the first negative stroke

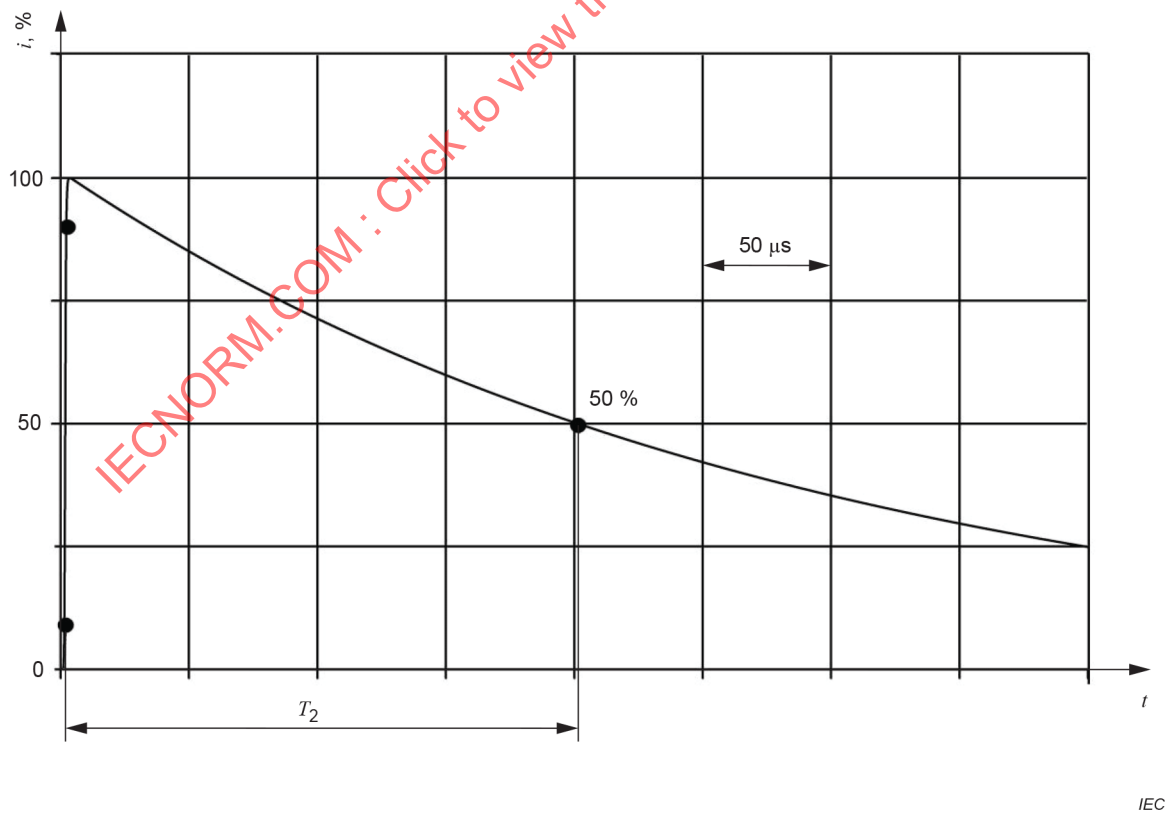
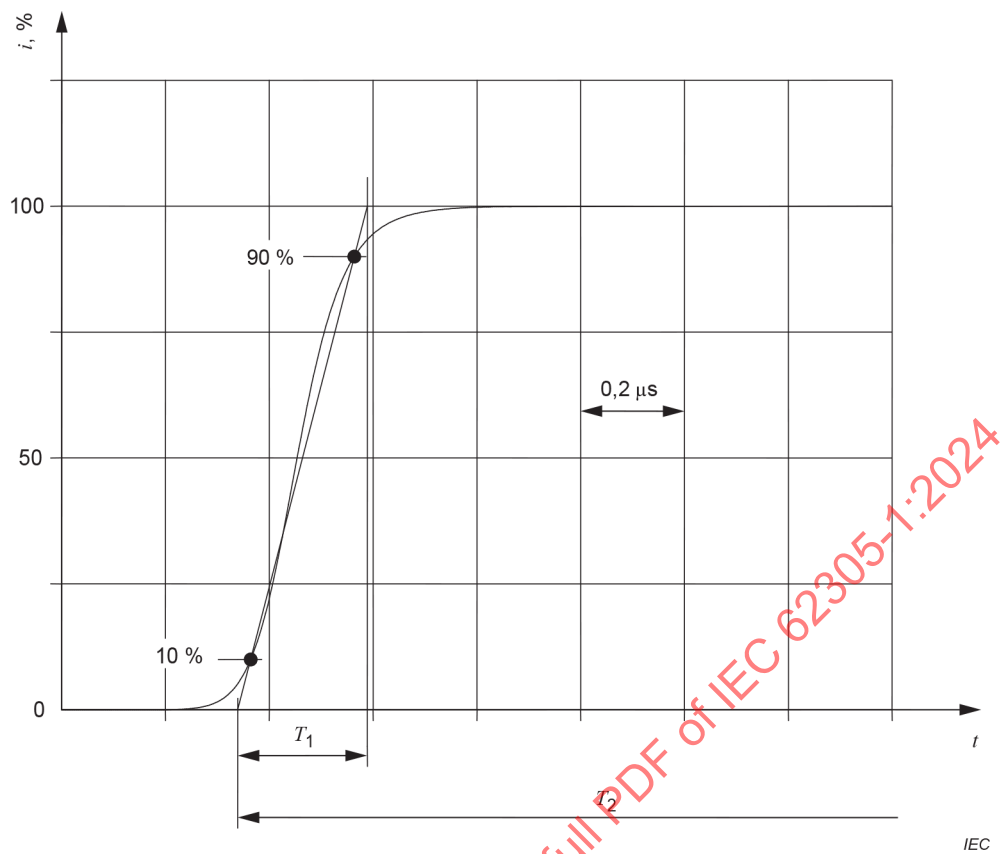
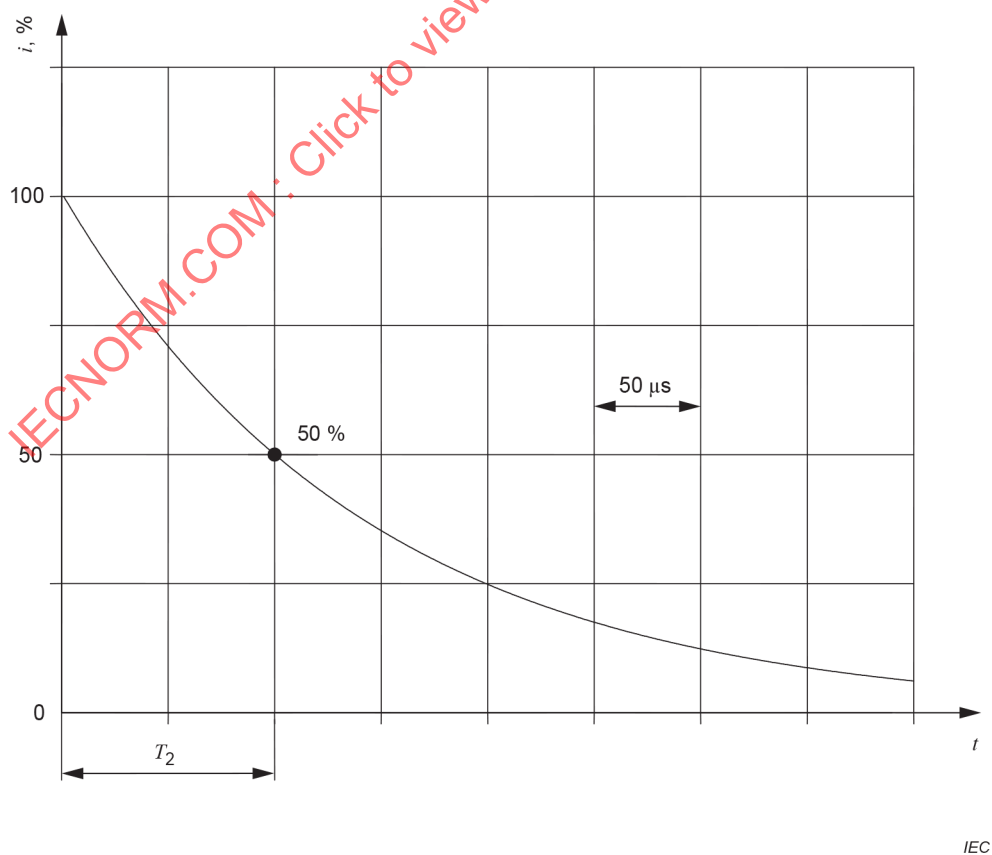


Figure B.4 – Shape of the current tail of the first negative stroke

**Figure B.5 – Shape of the current rise of the subsequent negative strokes****Figure B.6 – Shape of the current tail of the subsequent negative strokes**

The long stroke can be described by a rectangular waveshape with an average current I and a duration T_{LONG} according to Table 3.

From the analytic curves as function of time, the amplitude density of the lightning current (Figure B.7) can be derived.

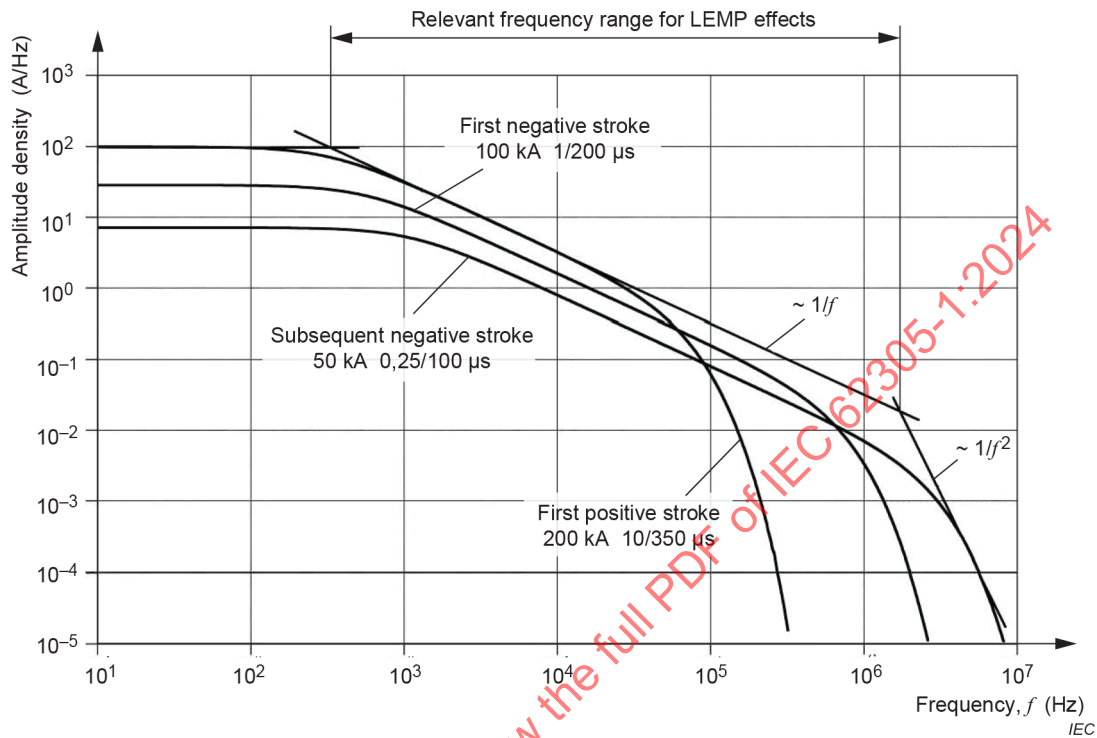


Figure B.7 – Amplitude density of the lightning current according to LPL I

Annex C (informative)

Simulation of the lightning current for test purposes

C.1 General

If a structure is struck by lightning, the lightning current is distributed within the structure. When testing individual protection measure components, this shall be taken into account by choosing appropriate test parameters for each component. To this end, a system analysis shall be performed.

C.2 Simulation of the specific energy of the first positive stroke and the charge of the long stroke

Test parameters are defined in Table C.1 and Table C.2 and an example test generator is shown in Figure C.1. This generator may be used to simulate the specific energy of the first positive stroke combined with the charge of the long stroke.

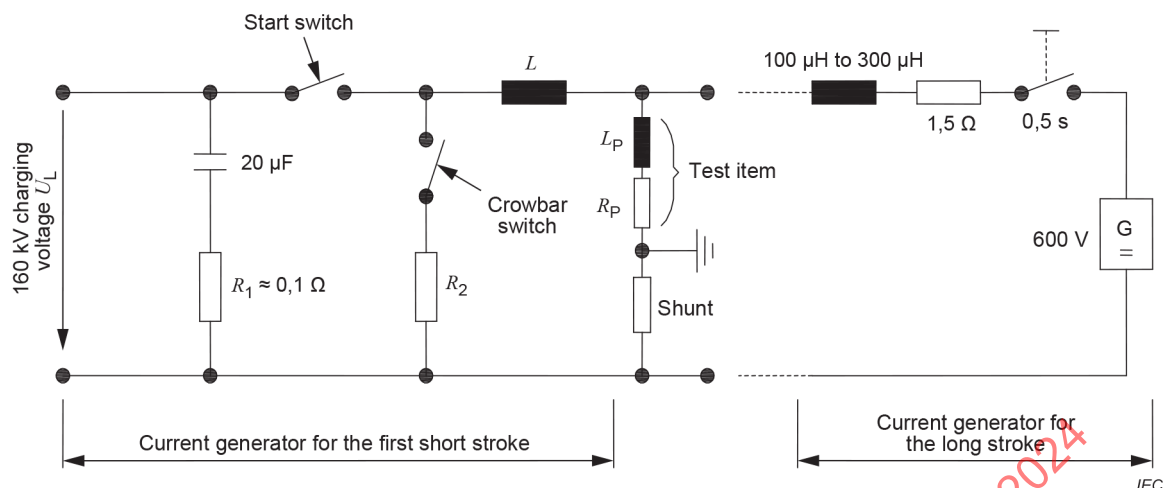
The tests may be used to assess mechanical integrity, freedom from adverse heating and melting effects.

The test parameters relevant for simulation of the first positive stroke (peak current I , the specific energy W/R , and the short stroke charge Q_{SHORT}) are given in Table C.1. These parameters should be obtained in the same impulse. This can be achieved by an approximately exponentially decaying current with T_2 in the range of 350 μs and T_1 less than 50 μs .

The test parameters relevant for the simulation of the long stroke (charge Q_{LONG} and duration T_{LONG}) are given in Table C.2.

Depending on the test item and the expected damage mechanisms, the tests for the first positive stroke or the long stroke can be applied singly or as a combined test, where the long stroke follows the first stroke immediately. Tests for arc melting should be performed using both polarities.

The first negative stroke should not be used for test purposes.



NOTE The values apply to LPL I.

Figure C.1 – Example test generator for the simulation of the specific energy of the first positive stroke and the charge of the long stroke

Table C.1 – Test parameters of the first positive stroke

Test parameters	LPL			Tolerance %
	I	II	III to IV	
Peak current I (kA)	200	150	100	-10 to +10
Charge Q_{SHORT} (C)	100	75	50	-10 to +20
Specific energy W/R (MJ/ Ω)	10	5,6	2,5	-10 to +45

Table C.2 – Test parameters of the long stroke

Test parameters	LPL			Tolerance %
	I	II	III to IV	
Charge Q_{LONG} (C)	200	150	100	±20
Duration T_{LONG} (s)	0,5	0,5	0,5	±10

C.3 Simulation of the front current steepness of the impulses

The steepness of the current determines the magnetically induced voltages in loops installed near conductors carrying lightning currents.

The current steepness of a stroke is defined as the rise of the current Δi during rise time Δt_r (Figure C.2). The test parameters relevant for the simulation of this current steepness are given in Table C.3. Example test generators are shown in Figure C.3 and Figure C.4 (these may be used to simulate the front steepness of a lightning current associated with a direct lightning strike). The simulation can be carried out for a first positive stroke and a subsequent negative stroke.

NOTE This simulation covers the front current steepness of impulses. The tail of the current has no influence on this kind of simulation.

The simulation according to Clause C.3 may be applied independently or in combination with the simulation according to Clause C.2.

For further information on test parameters simulating the effects of lightning on LPS components, see Annex D.

Table C.3 – Test parameters of the strokes

Test parameters		LPL			Tolerance %
		I	II	III and IV	
First positive stroke	$\Delta i / \Delta t$ (kA/ μ s)	20	15	10	± 30
Subsequent negative strokes	$\Delta i / \Delta t$ (kA/ μ s)	200	150	100	± 30

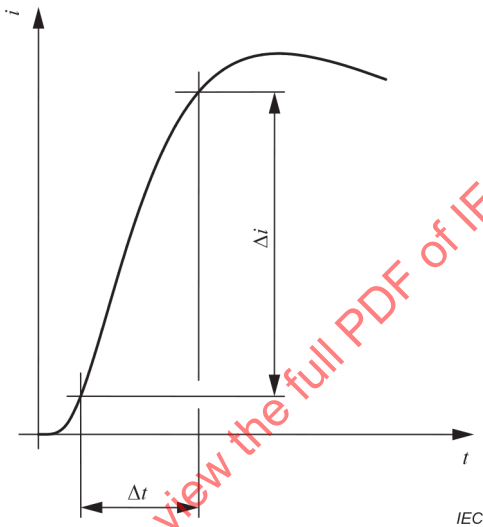
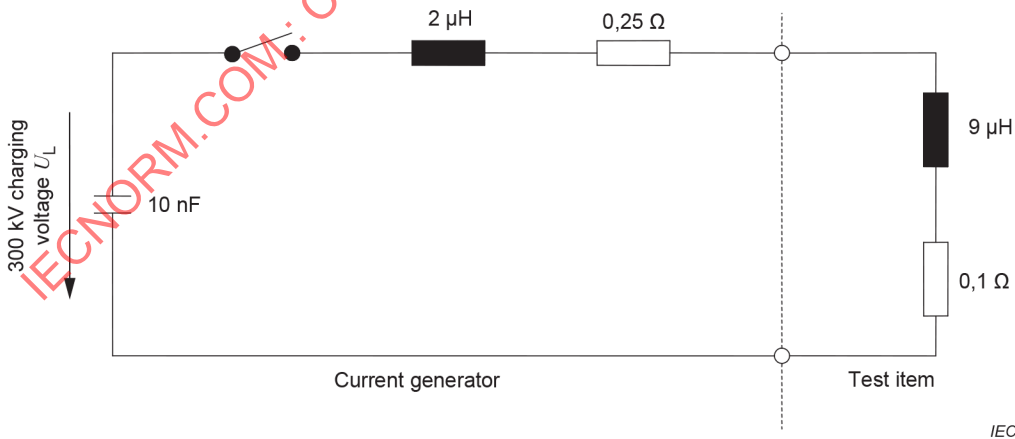
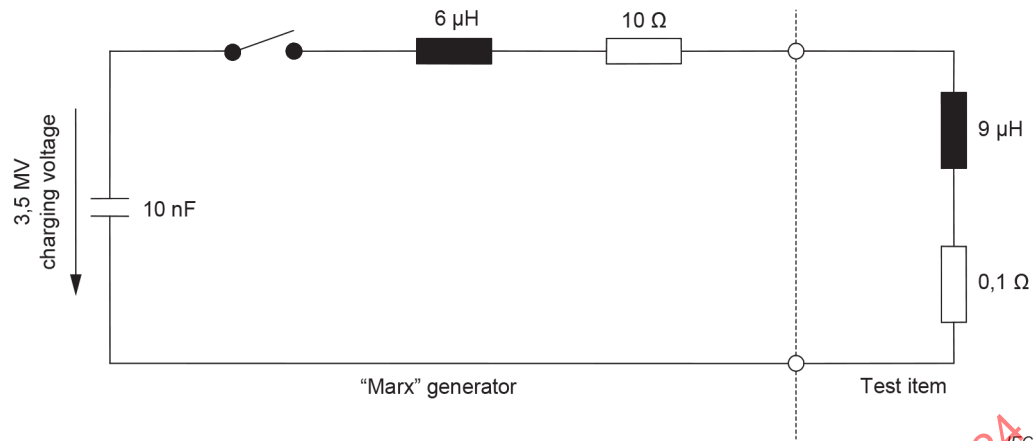


Figure C.2 – Definition of the current steepness in accordance with Table C.3



NOTE These values apply to LPL I.

Figure C.3 – Example test generator for the simulation of the front steepness of the first positive stroke for large test items



NOTE These values apply to LPL I.

Figure C.4 – Example test generator for the simulation of the front steepness of the subsequent negative strokes for large test items

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62305-1:2024

Annex D (informative)

Test parameters simulating the effects of lightning current on LPS components

D.1 General

Annex D gives the basic lightning current parameters that may be used in a laboratory to simulate the effects of lightning current on LPS components. This annex covers all the components of an LPS subjected to all or a major part of the lightning current and may be used in conjunction with the standards specifying the requirements and the tests for each specific component (see the IEC 62561 series [1]).

NOTE Parameters relevant to system aspects (e.g. for the coordination of surge protective devices) are not considered in this Annex D.

D.2 Current parameters relevant to the point of strike

The lightning current parameters playing a role in the physical integrity of an LPS are in general the peak current I , the charge Q , the specific energy W/R , the duration T and the average steepness of the current front di/dt . Each parameter tends to dominate a different failure mechanism, as analysed in detail in Table D.1. The current parameters to be considered for tests are combinations of these values, selected to represent in laboratory the actual failure mechanism of the part of the LPS being tested. The criteria for the selection of the outstanding quantities are given in Clause D.5.

Table D.1 records the maximum values of I , Q , W/R , T and di/dt suggested for tests as a function of the protection level required.

Table D.1 – Summary of the lightning threat parameters to be considered in the calculation of the test values for the different LPS components and for the different LPLs

Component	Main problem	Lightning threat parameters					Notes
Air termination	Erosion at attachment point (e.g. thin metal sheets)	LPL	Q_{LONG} C	T			
		I	200	< 1 s (apply Q_{LONG} in a single shot)			
		II	150				
		III to IV	100				
Air termination and down conductor	Ohmic heating	LPL	W/R kJ/Ω	T			Dimensioning with IEC 62305-3 render testing superfluous
		I	10 000	Apply W/R in an adiabatic configuration			
		II	5 600				
		III to IV	2 500				
	Mechanical effects	LPL	I kA	W/R kJ/Ω			
		I	200	10 000			
		II	150	5 600			
Connecting components	Combined effects (thermal, mechanical and arcing)	LPL	I kA	W/R kJ/Ω	T		
		I	200	10 000	< 2 ms (apply I and W/R in a single pulse)		
		II	150	5 600			
		III to IV	100	2 500			
Earth terminations	Erosion at attachment point	LPL	Q_{LONG} C	T			Dimensioning usually determined by mechanical and chemical aspects (corrosion, etc.)
		I	200	< 1 s (apply Q_{LONG} in a single shot)			
		II	150				
		III to IV	100				
Isolating spark gaps for equipment bonding	See IEC 62561-3						
SPD	See the IEC 61643 series [14]						

D.3 Current sharing

The parameters given in Table D.1 are relevant to the lightning current at the point of strike. The current then flows to earth through more than one path, as several down conductors and natural conductors are normally present in an external LPS. Additionally, different lines normally enter the protected structure (water and gas pipes, power and telecommunication lines, etc.). For the determination of the parameters of the actual current flowing in specific components of an LPS, the sharing of the current shall be taken into account. Preferably, current amplitude and shape through a component at a specific location of the LPS should be evaluated. Where an individual evaluation is not possible, the current parameters may be assessed by means of the following procedures.

For the evaluation of the current sharing within the external LPS, the configuration factor k_c (see IEC 62305-3:2024, 6.3) may be adopted. This factor provides an estimate of the share of

the lightning current flowing in down conductors of the external LPS under worst-case conditions.

For the evaluation of the current sharing in presence of external conductive parts and power and telecommunication lines connected to the protected structure, the approximate values of k_e and k'_e considered in Annex E may be adopted.

The above-described approach is applicable for the evaluation of the peak value of the current flowing in one particular path to earth.

$$I_p = k \times I \quad (D.1)$$

The calculation of the other parameters of the current is carried out as follows:

$$Q_p = k \times Q \quad (D.2)$$

$$(W/R)_p = k^2 \times (W/R) \quad (D.3)$$

$$\left(\frac{di}{dt}\right)_p = k \times \left(\frac{di}{dt}\right) \quad (D.4)$$

where

$x_p [I_p, Q_p, (W/R)_p, (di/dt)_p]$ is the value of the quantity considered (peak current I_p , charge Q_p , specific energy $(W/R)_p$, current steepness $(di/dt)_p$) relevant to a particular path to earth "p";

$x [I, Q, (W/R), (di/dt)]$ is the value of the quantity considered (peak current I , charge Q , specific energy (W/R) , current steepness (di/dt)) relevant to the total lightning current;

k is the current sharing factor:

k_c for external LPS (see IEC 62305-3:2024, 6.3);

k_e, k'_e in the presence of external conductive parts and power and telecommunication lines entering the protected structure (see Annex E).

D.4 Effects of lightning current causing possible damage

D.4.1 Thermal effects

D.4.1.1 General

Thermal effects linked with lightning current are relevant to the resistive heating caused by the circulation of an electric current flowing through the resistance of a conductor or into an LPS. Thermal effects are also relevant to the heat generated in the root of the arcs at the attachment point and in all the isolated parts of an LPS involved in arc development (e.g. spark gaps).

D.4.1.2 Resistive heating

Resistive heating takes place in any component of an LPS carrying a significant part of the lightning current. The minimum cross-sectional area of conductors shall be sufficient to prevent

overheating of the conductors to a level that would present a fire hazard to the surroundings. In addition to the thermal aspects discussed in D.4.1, the mechanical withstand and durability criteria shall be considered for parts exposed to atmospheric conditions or corrosion, or both. The evaluation of conductor heating due to lightning current flow is sometimes necessary when problems can arise because of the risk of personal injury and of fire or explosion damages.

Guidance is given below to evaluate the temperature rise of conductors subjected to the flow of a lightning current.

An analytical approach is presented as follows:

The instantaneous power dissipated as heat in a conductor due to an electrical current is expressed as:

$$P(t) = i(t)^2 \times R \quad (D.5)$$

The thermal energy generated by the complete lightning pulse is therefore the ohmic resistance of the lightning path through the LPS component considered, multiplied by the specific energy of the pulse. This thermal energy is expressed in units of Joules (J) or watt seconds (W·s).

$$W = R \times \int i(t)^2 \times dt \quad (D.6)$$

In a lightning discharge, the high specific energy phases of the lightning flash are too short in duration for any heat generated in the structure to be dispersed significantly. The phenomenon is therefore to be considered adiabatic.

The temperature of the conductors of the LPS can be evaluated as follows:

$$\theta - \theta_0 = \frac{1}{\alpha} \left[\exp \left(\frac{\frac{W}{R} \times \alpha \times \rho_0}{q^2 \times \gamma \times C_w} \right) - 1 \right] \quad (D.7)$$

Characteristic values of the physical parameters reported in Equation (D.7), for different materials used in the LPS are recorded in Table D.2 where

$\theta - \theta_0$ is the temperature rise of the conductors (K);

α is the temperature coefficient of the resistance (1/K);

W/R is the specific energy of the current impulse (J/Ω);

ρ_0 is the specific ohmic resistance of the conductor at ambient temperature (Ωm);

q is the cross-sectional area of the conductor (m²);

γ is the material density (kg/m³);

C_w is the thermal capacity (J/kgK).

Table D.2 – Physical characteristics of typical materials used in LPS components

Quantity	Material			
	Aluminium	Mild steel	Copper	Stainless steel ^a
ρ_0 (Ωm)	29×10^{-9}	120×10^{-9}	$17,8 \times 10^{-9}$	700×10^{-9}
α (1/K)	$4,0 \times 10^{-3}$	$6,5 \times 10^{-3}$	$3,92 \times 10^{-3}$	$0,8 \times 10^{-3}$
γ (kg/m ³)	2 700	7 700	8 920	8 000
C_w (J/kgK)	908	469	385	500

^a Austenitic non-magnetic.

Table D.3 reports, as an example of application of Equation (D.7), the temperature rise of conductors made of different materials, as a function of the W/R and of the conductor cross-sectional area.

Table D.3 – Temperature rise for conductors of different sections as a function of W/R

Cross-section mm ²	Material											
	Aluminium			Mild steel			Copper			Stainless steel ^a		
	W/R MJ/ Ω			W/R MJ/ Ω			W/R MJ/ Ω			W/R MJ/ Ω		
	2,5	5,6	10	2,5	5,6	10	2,5	5,6	10	2,5	5,6	10
4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
10	566	–	–	–	–	–	169	541	–	–	–	–
16	147	454	–	1 114	–	–	56	143	309	–	–	–
25	52	132	283	211	912	–	22	51	98	938	–	–
50	12	28	52	37	96	211	5	12	22	188	460	938
100	3	7	12	9	20	37	1	3	5	45	102	188

^a Austenitic non-magnetic.

The typical lightning stroke is characterized by a short duration stroke (time to half value of a few 100 μs) and high current peak value. Under these circumstances, the skin effect should also be taken into consideration. However, in most of the practical cases linked with LPS components, the material characteristics (dynamic magnetic permeability of the LPS conductor) and the geometrical configurations (cross-sectional area of the LPS conductor) reduce the contribution of the skin effect to the temperature rise of the conductor to negligible levels.

The component of the lightning flash most relevant to this heating mechanism is the first positive stroke.

D.4.1.3 Attachment point thermal damage

D.4.1.3.1 General

Attachment point thermal damage can be observed on all components of an LPS on which an arc development takes place, i.e. air-termination systems, spark gaps, etc.

Material melting and erosion can occur at the attachment point. In fact, in the arc root area there is a large thermal input from the arc root itself, as well as a concentration of ohmic heating due to the high current densities. Most of the thermal energy is generated at or very close to the surface of the metal. The heat generated in the immediate root area is in excess of that which can be absorbed into the metal by conduction and the excess is irradiated or lost in melting or vaporizing of metal. The severity of the process is linked to the current amplitude and duration.

Several theoretical models have been developed for the calculation of thermal effects on metal surfaces at the attachment point of a lightning channel. For the sake of simplicity, this document will report only the anode-or-cathode voltage drop model. The application of this model is particularly effective for thin metal skins. In all cases, it gives conservative results as it postulates that all the energy injected in the lightning attachment point is used to melt or vaporize conductor material, neglecting the heat diffusion within the metal. Other models introduce the dependence of the lightning attachment point damage on the duration of the current impulse.

D.4.1.3.2 Anode-or-cathode voltage drop model

The energy input W at the arc root is assumed as given by the anode-or-cathode voltage drop $u_{a,c}$ multiplied by the charge Q of the lightning current:

$$W = \int_0^{\infty} u_{a,c}(t) i(t) dt = u_{a,c} \int_0^{\infty} |i(t)| dt \quad (D.8)$$

As $u_{a,c}$ is fairly constant in the current range considered here, the charge of the lightning current (Q) is primarily responsible for the energy conversion in the arc root.

The anode-or-cathode voltage drop $u_{a,c}$ has a value of a few tens of volts.

A simplified approach assumes that all of the energy developed at the arc root is used only for melting. Equation (D.9) uses this assumption but leads to an overestimate of the melted volume.

$$V = \frac{u_{a,c} \times Q}{\gamma} \cdot \frac{1}{C_w \times (\theta_s - \theta_u) + C_s} \quad (D.9)$$

where

- V is the volume of metal melted (m³);
- $u_{a,c}$ is the anode-or-cathode voltage drop (assumed as constant) (V);
- Q is the charge of the lightning current (C);
- γ is the material density (kg/m³);
- C_w is the thermal capacity (J/kgK);
- θ_s is the melting temperature (°C);
- θ_u is the ambient temperature (°C);
- C_s is the latent heat of melting (J/kg).

Characteristic values of the physical parameters reported in this Equation (D.9), for different materials used in an LPS, are recorded in Table D.2.

Basically, the charge to be considered is the sum of the charge of the return stroke and the lightning continuing current. Laboratory experience has revealed that the effects of the return stroke charge are of minor importance when compared to the effects of the continuing current.

D.4.2 Mechanical effects

D.4.2.1 General

Mechanical effects caused by the lightning current depend on the amplitude and the duration of the current as well as on the elastic characteristics of the affected mechanical structure. Mechanical effects also depend on the friction forces acting between parts of the LPS in contact with one another, where relevant.

Magnetic forces occur between two current-carrying conductors or, if only one current-carrying conductor exists, where it forms a corner or a loop.

When a current flows through a circuit, the amplitude of the electrodynamic forces developed at the various positions of the circuit depend on both the amplitude of the lightning current and the geometrical configuration of the circuit. The mechanical effect of these forces, however, depends not only on their amplitude but also on the general form of the current, its duration, as well as on the geometrical configuration of the installation.

D.4.2.2 Electrodynamic forces

Electrodynamic forces developed by a current, i , flowing in a conductor having long parallel sections of length l and distance d (long and small loop sides), as shown in Figure D.1, can be approximately calculated using the following Equation (D.10):

$$F(t) = \frac{\mu_0}{2\pi} \times i(t)^2 \times \frac{l}{d} = 2 \times 10^{-7} \times i(t)^2 \times \frac{l}{d} \quad (\text{D.10})$$

where

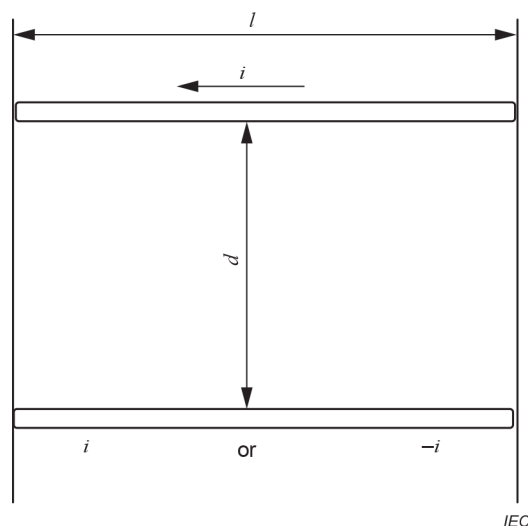
$F(t)$ is the electrodynamic force (N);

i is the current (A);

μ_0 is the magnetic permeability of free space (vacuum) ($4\pi \times 10^{-7}$ H/m);

l is the length of conductors (m);

d is the distance between the straight parallel sections of the conductor (m).



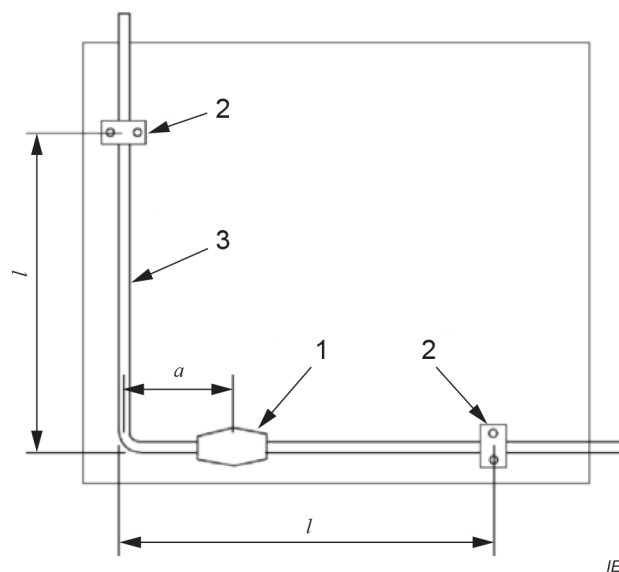
Key

d distance between the straight parallel sections of the conductor (m)

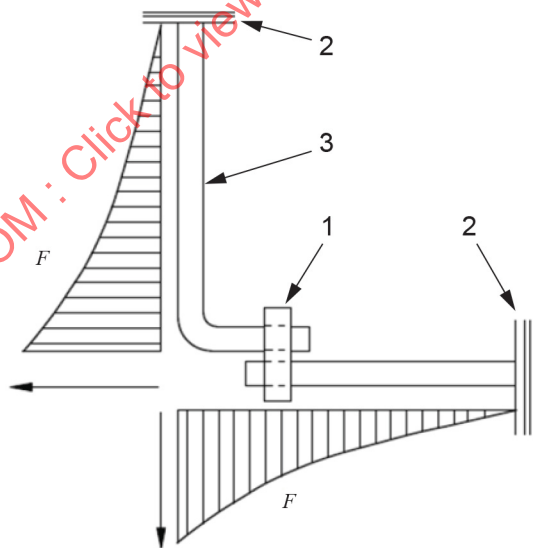
l length of conductors (m)

**Figure D.1 – General arrangement of two conductors
for the calculation of electrodynamic force**

In an LPS an example is given by a symmetric corner arrangement of conductors, forming an angle of 90° , with a clamp positioned in the vicinity of the corner as shown in Figure D.2. The diagram of the stresses for this configuration is reported in Figure D.3. The axial force on the horizontal conductor tends to pull the conductor out of the clamp. The numerical value of the force along the horizontal conductor, considering a peak current value of 100 kA and a length of a vertical conductor of 0,5 m, is shown in Figure D.4.

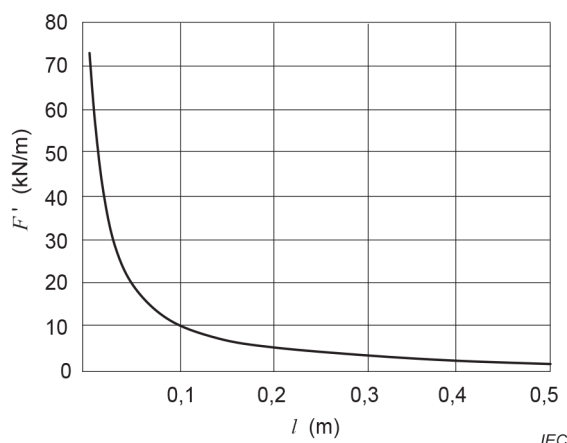
**Key**

- a distance between conductor and clamp (m)
- l distance between conductor and fasteners (m)
- 1 connection component (clamp)
- 2 rigid fastener
- 3 conductor

Figure D.2 – Typical conductor arrangement in an LPS**Key**

- 1 connection component (clamp)
- 2 rigid fastener
- 3 conductor

Figure D.3 – Diagram of the stresses F for the configuration of Figure D.2



NOTE The peak current value is 100 kA and the length of the vertical conductor is 0,5 m.

Figure D.4 – Force per unit length F' along the horizontal conductor of Figure D.2

D.4.2.3 Effects of electrodynamic forces

In terms of amplitude of applied force, the instantaneous value of the electrodynamic force $F(t)$ is proportional to the square of the instantaneous current $i(t)^2$. In terms of the stress development within the mechanical LPS structure, expressed by the product of the elastic deformation $\delta(t)$ and the elastic constant k of the LPS structure, two effects should be considered. The natural mechanical frequency (linked with the elastic behaviour of the LPS structure) and the permanent deformation of the LPS structure (linked with its plastic behaviour) are the most important parameters. Moreover, in many cases the effect of the friction forces within the structure are also of significant importance.

The amplitude of the vibrations of the elastic LPS structure, caused by an electrodynamic force developed by the lightning current, can be evaluated by means of second order differential equations; the key factor is the ratio between the duration of the current impulse and the period of natural mechanical oscillation of the LPS structure. The typical condition encountered in LPS applications consists of natural oscillation periods of the structure much longer than that of the applied force (duration of the lightning current impulse). In this case the maximum mechanical stress occurs after the cessation of the current impulse and has a peak value that remains lower than that of the applied force. In most cases, maximum mechanical stress can be neglected.

Plastic deformation occurs when the tensile stress exceeds the elastic limit of the material. If the material composing the LPS structure is soft, for example aluminium or annealed copper, the electrodynamic forces can deform the conductors in corners and loops. LPS components should therefore be designed to withstand these forces and to show essentially an elastic behaviour.

The total mechanical stress applied to the LPS structure depends on the time integral of the applied force and therefore on the specific energy associated with the current impulse. It also depends on the shape of the current impulse and its duration (compared with the period of natural oscillation of the structure). All these influencing parameters shall therefore be taken into account during testing.

D.4.2.4 Electrohydraulic effect

The electrohydraulic effect is the occurrence of a high pressure as a result of an expanding arc channel of a lightning discharge in a liquid. This effect can cause major damage to buildings if lightning strikes a water-covered surface [15].

D.4.2.5 Acoustic shock wave damage

When a lightning current flows in an arc a shock wave is produced. The severity of the shock is dependent upon the peak current value and the rate of rise of the current.

In general, the damage due to the acoustic shock wave is insignificant on metal parts of the LPS but can cause damage to surrounding items.

D.4.3 Combined effects

In practice, both thermal and mechanical effects occur simultaneously. If the heating of the material of the components (rods, clamps, etc.) is sufficient to soften the materials, much greater damage can occur than otherwise. In extreme cases, the conductor can explosively fuse and cause considerable damage to the surrounding structure. If the cross-section of the metal is sufficient to safely handle the overall action, only mechanical integrity shall be checked.

D.4.4 Sparking

Sparking is generally important only in flammable environments or in the presence of combustible materials.

Two different types of sparking can occur, i.e. thermal sparking and voltage sparking. Thermal sparking occurs when a very high current is forced to cross a joint between two conducting materials. Most thermal sparkings occur near the edges inside a joint if the interface pressure is too low; this is due primarily to high current density and inadequate interface pressure. The intensity of the thermal sparking is linked to the specific energy and therefore, the most critical phase of the lightning is the first return stroke. Voltage sparking occurs where the current is forced to take convoluted paths, for example inside a joint, if the voltage induced in such a loop exceeds the breakdown voltage between the metal parts. The induced voltage is proportional to the self-inductance multiplied by the steepness of the lightning current. The most critical lightning component for voltage sparking is therefore the subsequent negative stroke.

NOTE Sparks can also occur across bonds, clamps and junctions.

D.4.5 Soil ionization

At high peak values of the injected current, the electric field strength in the soil can exceed the ionization field strength in soil. This leads to ionization of the soil surrounding the earth electrode. Due to soil ionization, the diameter of the earth electrode is apparently increased. This leads to a reduction of the earthing impedance. This earthing impedance can be calculated according to IEC 60071-2:2023, E.3.3 [16].

D.5 LPS components, relevant problems and test parameters

D.5.1 General

Lightning protection systems are made of several different components, each having a specific function within the system. The nature of the components and the specific stresses to which they are subjected, require special consideration when setting up laboratory tests to check their performance.

D.5.2 Air terminations

Effects on air-termination systems arise from both mechanical and thermal effects (as discussed below in D.5.3 but noting that a high proportion of the lightning current will flow in an air-termination conductor which is struck) and also, in some cases, arc erosion effects, particularly in natural LPS components such as thin metal roof or wall skins (e.g. some tenths of mm up to a few mm, see IEC 62305-3:2024, Table 3, where puncture or excessive rear surface temperature rise can occur) and suspended conductors.

For arc erosion effects, two main test parameters should be considered, i.e. the charge of the long duration current and its duration.

The charge governs the energy input at the arc root. In particular, long duration strokes appear to be the most severe for this effect whilst short duration strokes can be neglected.

The duration of the current has an important role in the heat transfer phenomena into the material. The duration of the current applied during the tests should be comparable to those of long duration strokes (0,5 s to 1 s).

D.5.3 Down conductors

D.5.3.1 General

Effects on down conductors caused by lightning can be divided into two main categories:

- thermal effects due to resistive heating;
- mechanical effects linked with the magnetic interaction where the lightning current is shared by conductors positioned in the vicinity of one another or when the current changes direction (bends or connections between conductors positioned at a given angle with respect to one another).

In most cases, these two effects act independently from each other and separate laboratory tests can be carried out to check each effect from the other. This approach can be adopted in all cases in which the heating developed by the lightning current flow does not modify substantially the mechanical characteristics.

D.5.3.2 Resistive heating

Calculations and measurements relating to the heating of conductors of different cross-sections and materials due to lightning current flowing along a conductor have been published by several authors. The main results in terms of formulae are summarized in D.4.1.2. No laboratory test is therefore necessary, in general, to check the behaviour of a conductor with respect to temperature rise.

In all cases for which a laboratory test is required, the following considerations shall be taken into account:

- The main test parameters to be considered are the specific energy and the impulse current duration.
- The specific energy governs the temperature rise due to the Joule heating caused by the flow of the lightning current. Numerical values to be considered are those relevant to the first stroke. Conservative data are obtained by considering positive strokes.
- The impulse current duration has a decisive influence on the heat exchange process with respect to the ambient conditions surrounding the considered conductor. In most cases the duration of the impulse current is so short that the heating process can be considered to be adiabatic.

D.5.3.3 Mechanical effects

As discussed in D.4.2.2, mechanical interactions are developed between conductors carrying lightning current. The force is proportional to the product of the currents flowing in the conductors (or to the square of the current if a single bent conductor is considered) and is linked with the inverse of the distance between the conductors.

The usual situation in which a visible effect can occur is when a conductor forms a loop or is bent. When such a conductor carries the lightning current, it will be subjected to a mechanical force which tries to extend the loop and to straighten the corner and thus to bend it outward. The magnitude of this force is proportional to the square of the current amplitude. A clear distinction should be made, however, between the electrodynamic force, which is proportional to the square of the current amplitude, and the corresponding stress dependent on the elastic characteristics of the mechanical LPS structure. For LPS structures of relatively low natural elastic frequencies, the stress developed within the LPS structure would be considerably lower than the electrodynamic force. In this case, no laboratory test is necessary to check the mechanical behaviour of a conductor bent at a right-angle as long as the cross-sectional areas of this document's requirements are fulfilled.

In all cases for which a laboratory test is required (especially for soft materials), the following considerations should be taken into account. Three parameters of the first return stroke shall be considered: the duration, the specific energy of the impulse current and, in the case of rigid systems, the amplitude of the current.

The duration of the impulse current, compared with the period of the natural mechanical oscillation of the LPS structure, governs the type of mechanical response of the system in terms of displacement:

- If the duration of the impulse is much shorter than the period of natural mechanical oscillation of the LPS structure (normal case for LPS structures stressed by lightning impulses), the mass and elasticity of the system prevents it from being displaced appreciably and the relevant mechanical stress is essentially related to the specific energy of the current impulse. The peak value of the impulse current has a limited effect.
- If the duration of the impulse is comparable with or higher than the period of natural mechanical oscillation of the structure, the displacement of the system is more sensitive to the shape of the applied stress. In this case, the peak value of the current impulse and its specific energy shall be reproduced during the test.

The specific energy of the impulse current governs the stress causing the elastic and plastic deformation of the LPS structure. Numerical values to be considered are those relevant to the first stroke.

The maximum values of the impulse current govern the length of the maximum displacement of the LPS structure, in case of rigid systems having high natural oscillation frequencies. Numerical values to be considered are those relevant to the first stroke.

D.5.4 Connecting components

Connecting components between adjacent conductors of an LPS are possible points of mechanical and thermal weakness where very high stresses occur.

In the case of a connector placed in such a manner as to make the conductor follow a right angle, the main effects of the stresses are linked with mechanical forces which tend to straighten the conductor set and overcome the friction forces between the connecting component and the conductors, thus pulling the connection apart. The development of arcs at the points of contact of the different parts is possible. Moreover, the heating effect caused by the concentration of current over small contact surfaces has a notable effect.

Laboratory tests have shown that it is difficult to separate each effect from the others as a complex synergism takes place. Mechanical strength is affected by local melting of the area of contact. Relative displacements between parts of the connection components promote the development of arcs and the consequential intense heat generation.

In the absence of a valid model, laboratory tests should be conducted in such a way as to represent as closely as possible the appropriate parameters of the lightning current in the most critical situation, i.e. the appropriate parameters of the lightning current shall be applied by means of a single electrical test.

Three parameters should be considered in this case: the peak value, the specific energy and the duration of the impulse current.

The maximum values of the impulse current govern the maximum force, or, if and after the electrodynamic pulling force exceeds the friction force, the length of the maximum displacement of the LPS structure. Numerical values to be considered are those relevant to the first stroke. Conservative data are obtained by considering positive strokes.

The specific energy of the current impulse governs the heating at contact surfaces where the current is concentrated over small areas. Numerical values to be considered are those relevant to the first stroke. Conservative data are obtained by considering positive strokes.

The duration of the impulse current governs the maximum displacement of the structure after friction forces are exceeded and has an important role in the heat transfer phenomena into the material.

D.5.5 Earth terminations

The real problems with earth-termination electrodes are linked with chemical corrosion and mechanical damage caused by forces other than electrodynamic forces. In practical cases, erosion of the earth electrode at the arc root is of minor importance. It is, however, to be considered that, contrary to air terminations, a typical LPS has several earth-terminations. The lightning current will be shared between several earthing electrodes, thus causing less important effects at the arc root. Two main test parameters should be considered in this case:

- the charge governs the energy input at the arc root. In particular, the contribution of the first stroke can be neglected since long duration strokes appear to be the most severe for this component;
- the duration of the current impulse has an important role in the heat transfer phenomena into the material. The duration of the current impulses applied during the testing should be comparable to those of long duration strokes (0,5 s to 1s).

D.6 Surge protective devices (SPDs)

D.6.1 General

The effects of the stress on an SPD caused by lightning depend on the type of SPD considered, with particular reference to the presence or absence of a gap. SPD tests are described in IEC 61643-11 [14], IEC 61643-21 [17] and IEC 61643-31 [6].

Many SPDs are of combination type and include varistors, gaps and other components. D.6.2 and D.6.3 introduce the effect of lightning on two typical components.

D.6.2 SPD containing spark gaps

Effects on spark gaps caused by lightning can be divided into two major categories:

- the erosion of the gap electrodes by heating, melting and vaporizing of material;
- the mechanical stress caused by the shock wave of the discharge.

It is extremely difficult to investigate separately these effects, as both are linked with the main lightning current parameters by means of complex relationships.

For spark gaps, laboratory tests shall be conducted in such a way as to represent as closely as possible the appropriate parameters of the lightning current in the most critical situation, i.e. all the appropriate parameters of the lightning current shall be applied by means of a single electrical stress.

Five parameters shall be considered in this case: the peak value, the charge, the duration, the specific energy and the rate of rise of the impulse current.

The current peak value governs the severity of the shockwave. Numerical values to be considered are those relevant to the first stroke. Conservative data are obtained by considering positive strokes.

The charge governs the energy input in the arc. The energy in the arc will heat up, melt and possibly vaporize part of the electrode material at the attachment point of the arc. Numerical values to be considered are those relevant to the whole lightning flash. However, the charge of the long duration current can be neglected in some cases, depending on the configuration of the power supply system (TN, TT or IT).

The duration of the impulse current governs the heat transfer phenomena into the mass of the electrode and the resulting propagation of the melt front.

The specific energy of the current impulse governs the self-magnetic compression of the arc and the physics of the electrode plasma jets developed at the interface between the electrode surface and the arc (which can blow out a significant amount of molten material). Numerical values to be considered are those relevant to the first stroke. Conservative data are obtained by considering positive strokes.

For spark gaps used on power supply systems, the possible power frequency follow current amplitude constitutes an important stress factor, which should be taken into consideration.

D.6.3 SPD containing metal-oxide varistors

Stress to metal-oxide varistors caused by lightning can be divided into two main categories: overload and flashover. Each category is characterized by failure modes generated by different phenomena and governed by different parameters. The failure of a metal-oxide SPD is linked to its weakest characteristics and therefore it is unlikely that synergism between different fatal stresses can occur. It appears, therefore, to be acceptable to carry out separate tests to check the behaviour under each failure mode condition.

Overloads are caused by an amount of absorbed energy exceeding the capabilities of the device. The excessive energy considered here is related to the lightning stress itself. However, for SPDs installed on power supply systems, the follow current injected into the device by the power system immediately after the cessation of the lightning current flow can also play an important role in the fatal damage of the SPD. Finally, an SPD can be fatally damaged by thermal instability under the applied voltage related to the negative temperature coefficient of the volt-ampere characteristics of the resistors. For the overload simulation of metal-oxide varistors, one main parameter shall be considered: the charge.

The charge governs the energy input into the metal-oxide resistor block, considering as a constant the residual voltage of the metal-oxide resistor block. Numerical values to be considered are those relevant to the lightning flash.

Flashovers and cracking are caused by the amplitude of current impulses exceeding the capabilities of the resistors. This failure mode is generally evidenced by an external flashover along the collar, sometimes penetrating into the resistor block causing a crack or a hole perpendicular to the collar. The failure is mainly linked with a dielectric collapse of the collar of the resistor block.

For the simulation of this lightning phenomenon, two main parameters should be considered: the maximum value and the duration of the impulse current.

The maximum value of the impulse current determines, through the corresponding level of residual voltage, whether the maximum dielectric strength on the resistor collar is exceeded. Numerical values to be considered are those relevant to the first stroke. Conservative data are obtained by considering positive strokes.

The duration of the impulse current governs the duration of application of the dielectric stress on the resistor collar.

D.7 Summary of the test parameters to be adopted in testing LPS components

Table D.1 summarizes the most critical aspects of each LPS component during the performance of its function and gives the parameters of the lightning current to be reproduced in laboratory tests.

The numerical values given in Table D.1 are relevant to the lightning parameters of importance at the point of strike.

Test values should be calculated considering the current sharing which can be expressed by means of the current sharing factor, as discussed in Clause D.3.

The numerical values of the parameters to be used during the tests can therefore be calculated on the base of the data given in Table D.1, applying the reduction factors linked with current sharing, as expressed by the formulae reported in Clause D.3.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62305-1:2024

Annex E (informative)

Surge currents due to lightning at different installation points

E.1 General

For dimensioning of conductors, SPDs and apparatus, the threat due to surges at the particular installation point of these components should be determined. Surges can arise from (partial) lightning currents and from induction effects into installation loops. The threat due to these surges shall be lower than the withstand levels of the components used (defined by adequate tests as necessary).

These lightning surges can be obtained with simplified values from the following considerations.

E.2 Surge currents due to flashes to the structure (source of damage S1)

E.2.1 Surge currents flowing through external conductive parts and lines connected to the structure

For direct lightning flashes to the structure, partitioning of the lightning current between the external conductive parts, the lines connected to the structure and the earth-termination system of the structure should be taken into account.

When conducted to earth, the lightning current I is divided between the earth-termination system, the n external conductive parts and the lines, directly or via SPDs connected to them:

$$I_F = k_e \times I / n \quad (\text{E.1})$$

where

k_e is the current sharing factor;

n is the total number of overhead and underground connected parts;

I is the lightning current relevant to the lightning protection level (LPL) considered;

I_F is the lightning current flowing through each external conductive part and line.

The current sharing factor k_e depends on

- the conventional earthing impedance of connected underground and overhead parts;
- the conventional earthing impedance of the earth-termination system of the structure.

For structures with earthing system complying with IEC 62305-3:2024, 5.4, the following rough approximated values of current sharing factor $k_e = 0,5$ can be assumed.

NOTE A more precise evaluation of k_e is possible taking into account the characteristics of the connected lines and of the real conventional earthing impedance of the structure and of the connected parts.

E.2.2 Factors influencing the sharing of the lightning current and related charge in power lines

Each of the n' conductors of the line carries away from the structure an equal part I'_F of the lightning current.

The value of I'_F depends on:

- the type of line: overhead or underground;
- the line characteristic: shielded or unshielded;
- the insulation level of the line;
- the number of line conductors;
- the conventional earthing impedance associated with poles for overhead lines;
- the soil resistivity for underground lines.

Highest values of I'_F are obtained in the case of a two-conductor overhead unshielded line with low values of insulation level and of earthing impedance associated with poles.

For detailed calculations, several factors can influence the amplitude and the shape of such surges:

- the cable length can influence current sharing and shape characteristics due to the L/R ratio;
- different impedances of neutral and phase conductors can influence current and charge sharing among line conductors;

NOTE 1 In the case of TN-systems, if the neutral (N) conductor has multiple earthed points, the lower impedance of N compared with phase conductors L1, L2 and L3 can result in much more current flowing through the N conductor. The current value flowing through each conductor depends on the impedance value of each conductor.

- different transformer impedances can influence current and charge sharing (this effect is negligible, if the transformer is protected by SPDs bypassing its impedance);
- the relation between the conventional earthing impedances of the transformer and the items on the load side can influence current and charge sharing (the lower the transformer impedance, the higher is the surge current flowing into the low-voltage system);
- parallel consumers cause a reduction of the effective impedance of the low-voltage system; this can increase the partial lightning current flowing into this system.

NOTE 2 Refer to IEC 62305-4:2024, Annex D for more information.

Rough approximated values of current I'_F flowing through line conductors connected to the structure may be evaluated as reported in E.2.3.

E.2.3 Surge currents flowing through line conductors connected to the structure

If entering lines (e.g. electrical and telecommunication lines) are unshielded or not routed in metal conduit, it is assumed that each of the n' conductors of the line carries an equal portion I'_F of the lightning current

$$I'_F = k'_e \times I \quad (\text{E.2})$$

where

I'_F is the lightning current flowing through each conductor of the line;

and

$$k'_e = k_e / n' \quad (\text{E.3})$$

n' being the total number of conductors.

For shielded lines bonded at the entrance, the values of current sharing factor k'_e for each of the n' conductors of a shielded line are given by:

$$k'_e = k_e \times R_S / (n' \times R_S + R_C) \quad (\text{E.4})$$

where

R_S is the ohmic resistance per unit length of shield;

R_C is the ohmic resistance per unit length of inner conductor.

NOTE 1 Equation (E.4) can underestimate the role of the shield in diverting lightning current due to mutual inductance between core and shield.

NOTE 2 Using Equation (E.3) and Equation (E.4) can overestimate the current flowing through the conductors of telecommunication lines.

E.2.4 Surge currents flowing through conductive parts and cables internal to the structure connected to LPS

If internal lines (e.g. electrical and telecommunication lines) are bonded both at roof level to the LPS (i.e. the separation distance is not maintained) and to the equipotential bonding bar at ground level, each of the n' conductors of the line carries an equal part I'_F of the lightning current

$$I'_F = k'_c \times I \quad (\text{E.5})$$

where

$$k'_c = k_c / 2 n' \quad (\text{E.6})$$

k_c being the coefficient according to IEC 62305-3:2024, 6.3;

n' being the total number of conductors.

For shielded lines, the values of current sharing factor k'_c for each of the n' conductors of a shielded line are given by:

$$k'_c = k_c \times R_S / 2 (n' \times R_S + R_C) \quad (\text{E.7})$$

where

R_S is the ohmic resistance per unit length of shield;

R_C is the ohmic resistance per unit length of inner conductor.

NOTE 1 Equation (E.7) can underestimate the role of the shield in diverting lightning current, due to mutual inductance between core and shield.

NOTE 2 In particular circumstances Equation (E.5) and Equation (E.6) can underestimate the partial lightning current flowing through the SPDs at roof level. For instance, a higher lightning current can flow through these SPDs at roof level due to the influence of the earthing systems of neighbouring buildings connected to the same low-voltage network. Numerical simulations of such cases lead to more exact results of these partial lightning currents (see also IEC 62305-4:2024, E.4.1 and E.4.2).

NOTE 3 Using Equation (E.6) and Equation (E.7) can overestimate the current flowing through the conductors of telecommunication lines.

E.2.5 Surge currents flowing through cables connected to different points of the earth-termination system within the same earth-termination system

If a line is bonded at two different points to an earth-termination system complying with IEC 62305-3:2024, 5.4, each of the n' conductors of the line carries an equal part I'_F of the lightning current

– in case of an unshielded line:
$$I'_F = 0,1 \times I \times n' / (2 n' - 1) \quad (E.8)$$

– in case of a shielded line:
$$I'_F = 0,1 \times I \times R_S / (n' \times R_S + R_C) \quad (E.9)$$

where

n' is the total number of conductors;

R_S is the ohmic resistance per unit length of shield;

R_C is the ohmic resistance per unit length of inner conductor.

NOTE 1 Formula (E.9) can underestimate the role of the shield in diverting lightning current, due to mutual inductance between core and shield.

NOTE 2 More precise evaluation of I'_F is possible taking into account the characteristics of connected lines and of the earthing arrangement.

In the case of a foundation earth electrode densely meshed (in the order of $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$) according to IEC 62305-3, it is assumed that the current flowing through such lines is negligible. For large buildings a calculation is recommended as it is possible that the current will no longer be negligible.

E.3 Surge currents due to flashes to lines (source of damage S3)

For direct lightning flashes to connected lines, partitioning of the lightning current in both directions of the line and the breakdown of insulation should be taken into account.

Each of the n' conductors of the line carries into the structure an equal part I'_F of the lightning current.

The value of I'_F depends on:

- the type of line: overhead or underground;
- the line characteristic: shielded or unshielded;
- the insulation level of the line;
- the number of line conductors;
- the earthing impedance associated with poles for overhead lines;
- the soil resistivity for underground lines.

Highest values of I'_F are obtained in the case of the strike to the last pole of the line close to the consumer and of a two-conductor overhead unshielded line with high values of insulation level and of conventional earthing impedance of poles.

However, according to simulation results, the charge of the current flowing through the SPD at the entrance of the service into the structure does not change with the point where the lightning current strikes the service.

Approximated peak values of I'_F are given in Table E.1 for low-voltage systems and Table E.2 for telecommunication systems according to the lightning protection level (LPL).

NOTE 1 The selection of an SPD can be made with the knowledge of many interrelated factors other than peak values I'_F of surge currents. In the absence of accurate assessments of such factors, values of currents reported in Table E.1 and in Table E.2 can be used as conventional values for the selection of an SPD with a given probability P_{SPD} .

NOTE 2 In HV power lines SPDs are called surge arresters.

E.4 Surges due to flashes near the lines (source of damage S4)

Surges from flashes near lines have energies much lower than those associated with flashes to lines (source of damage S3).

It is assumed that each of the n' conductors of the line carries the same I'_F of the lightning current.

The value of I'_F depends on:

- the type of line: overhead or underground;
- the line characteristic: shielded or unshielded;
- the insulation level of the line;
- the height of conductors for overhead lines;
- the soil resistivity for underground lines.

Highest values of I'_F are obtained in the case of the strike to ground close to the line and of an overhead unshielded line with high values of insulation level and high values of soil resistivity.

For shielded wires, it is assumed that the current values shown in Table E.1 and Table E.2 can be reduced by a factor of 0,5.

Approximated peak values I'_F are given in Table E.1 for low-voltage systems and Table E.2 for telecommunication systems according to the lightning protection level (LPL).

For protection against source S4, SPDs with $I_n \geq 5$ kA are commonly used (see IEC 60364-5-53 [18]).

NOTE The selection of an SPD can be made with the knowledge of many interrelated factors other than peak values I'_F of surge currents. In the absence of accurate assessments of such factors, values of currents reported in Table E.1 and in Table E.2 can be used as conventional values for the selection of an SPD with a given probability P_{SPD} .

E.5 Surge currents due to induction effects (sources of damage S1 or S2)

E.5.1 General

Surges are due to induction effects from magnetic fields, generated either from nearby lightning flashes (source S2) or from lightning current flowing in the external LPS or the spatial shield of LPZ 1 (source S1).

Induction effects from magnetic fields can be generated also from lightning current flowing in structures with continuous metal or reinforced concrete framework acting as a natural LPS.

The induced current I'_F depends, in amplitude and waveform, on the loop inductance and resistance.

Such surges shall be considered close to or at the terminal of the apparatus inside LPZ 1 and at the boundary of LPZ 1/2.

E.5.2 Surges inside an unshielded LPZ 1

Inside an unshielded LPZ 1 (e.g. protected only by an external LPS according to IEC 62305-3 with mesh width greater than 5 m) relatively high surges are to be expected due to the induction effects from the undamped magnetic field.

For the source S1, highest values of I'_F are obtained in the case of loops with long parallel stretches with the down conductors and a short distance from them in an LPS with high coefficients k_c of current sharing among down conductors.

For the source S2, highest values of I'_F are obtained in the case of large loops.

Approximated peak values I'_F are given in Table E.1 for low-voltage systems and Table E.2 for telecommunication systems according to the lightning protection level (LPL).

NOTE The selection of an SPD can be made with the knowledge of many interrelated factors other than peak values I_F of surge currents. In the absence of accurate assessments of such factors, values of currents reported in Table E.1 and in Table E.2 can be used as conventional values for the selection of an SPD with a given probability P_{SPD} .

E.5.3 Surges inside shielded LPZs

Inside LPZs with effective spatial shielding (requiring mesh width below 5 m according to IEC 62305-4:2024, Annex A), the generation of surges due to induction effects from magnetic fields is strongly reduced. In such cases the surges are much lower than those given in E.5.2.

Inside LPZ 1 the induction effects are lower due to the damping effect of its spatial shield.

Inside LPZ 2 the surges are further reduced due to the cascaded effect of both spatial shields of LPZ 1 and LPZ 2.

E.6 Conventional surge currents

The effects of overvoltages of all damage sources S1, S2, S3 and S4 can be determined using the conventional parameters shown in Table E.1 and Table E.2.

NOTE 1 It is possible to calculate the specific current sharing. However, refer to Table E.1 and Table E.2 when no specific current sharing calculation is performed.

Table E.1 – Conventional surge currents due to lightning flashes on low-voltage systems

LPL (class)	Low-voltage systems				
	Direct and indirect flashes to the line		Flash near the structure ^a	Flash to the structure ^b	Flash to the structure
	Source of damage S3 ^c	Source of damage S4 ^d	Source of damage S2	Source of damage S1 (inductive coupling)	Source of damage S1 ^e (resistive coupling)
	kA 10/350 µs	kA 8/20 µs	kA 8/20 µs	kA 8/20 µs	kA 10/350 µs
III to IV	5	2,5 ^g	0,1 ^f	5	12,5
II	7,5	3,75 ^g	0,15 ^f	7,5	18,75
I	10	5 ^g	0,2 ^f	10	25
NOTE All values refer to each line conductor. ^a Loop conductors routing and distance from the inducing current affect the values of expected surge overcurrents. Values in Table E.1 refer to positive and negative first strokes and to short-circuited, unshielded loop conductors with different routing (loop area in the order of 50 m², width = 0,5 m), 350 m apart from the lightning stroke, inside an unshielded structure. For other loop and structure characteristics, values should be multiplied by factors K_{S1}, K_{S2}, K_{S3} (see IEC 62305-2:2024, Clause B.6). ^b Loop conductors routing and distance from the inducing current affect the values of expected surge overcurrents. Values in Table E.1 refer to positive and negative first strokes to short-circuited, unshielded loop conductors with different routing in large buildings (loop area in the order of 50 m², width = 0,5 m), 1 m apart from the structure wall, inside an unshielded structure ($k_c = 1$). For other loop and structure characteristics, values should be multiplied by factors K_{S1}, K_{S2}, K_{S3} (see IEC 62305-2:2024, Clause B.6). ^c Values are relevant to positive and negative first strokes and in the case of the strike to the aerial line three phase + neutral conductors; earthing impedance of the line poles $Z_p = 50 \Omega$. For two-conductor lines, values can be doubled. For buried lines, values can be halved. ^d Values are relevant to positive and negative first strokes and refer to overhead lines in high resistivity soil ($\rho \geq 3\,000 \Omega\text{m}$). For buried lines or overhead lines in low resistivity soil, values can be greatly reduced. ^e Current values are relevant to positive and negative first strokes and relate to $n = 1$ for a service line with three phase conductors + neutral ($n' = 4$); sharing factor $k_e = 0,5$; more detailed information is given in Clause E.2. ^f Generally, SPDs designed for S1 (inductive coupling) covers the need for S2 and S4 events. ^g Values reported in that column are defined in IEC 60364-5-53 [18] and are associated to much lower probabilities than for other columns and can be only used when a specified risk assessment is not performed. For associated probabilities refer to IEC 62305-2.					

Table E.2 – Conventional surge currents due to lightning flashes on telecommunication systems

LPL (class)	Telecommunication systems ^a				
	Direct and indirect flashes to the line		Flash near the structure ^b	Flash to the structure ^c	Flash to the structure
	Source of damage S3 ^d kA 10/350 µs	Source of damage S4 ^e kA 8/20 µs	Source of damage S2 kA 8/20 µs	Source of damage S1 (inductive coupling) kA 8/20 µs	Source of damage S1 ^d (resistive coupling) kA 10/350 µs
III to IV	1	0,3	0,1	5	1,25
II	1,5	0,45	0,15	7,5	1,875
I	2	0,6	0,2	10	2,5

NOTE All values refer to each line conductor.

^a Refer to ITU-T Recommendation K.67 [19] for more information.

^b Loop conductors routing and distance from the inducing current affect the values of expected surge overcurrents. Values in Table E.2 refer to subsequent stroke of negative flashes and to short-circuited, unshielded loop conductors with different routing (loop area in the order of 50 m², width = 0,5 m), 350 m apart from the lightning stroke, inside an unshielded structure. For other loop and structure characteristics, values should be multiplied by factors K_{S1} , K_{S2} , K_{S3} (see IEC 62305-2:2024, Clause B.6).

^c Loop conductors routing and distance from the inducing current affect the values of expected surge overcurrents. Values in Table E.2 refer to subsequent stroke of negative flashes and to short-circuited, unshielded loop conductors with different routing in large buildings (loop area in the order of 50 m², width = 0,5 m), 1 m apart from the structure wall, inside an unshielded structure ($k_c = 1$). For other loop and structure characteristics, values should be multiplied by factors K_{S1} , K_{S2} , K_{S3} (see IEC 62305-2:2024, Clause B.6).

^d Values are relevant to positive and negative first strokes and to overhead and unshielded lines with many pairs and for one or two unshielded pairs of a traditional metallic line. For buried lines, values can be halved.

^e Values are relevant to first stroke of negative flashes and to overhead and unshielded lines. For buried lines, values can be halved.

For shielded wires, it is assumed that the current values shown in Table E.1 and Table E.2 can be reduced by a factor of 0,5.

NOTE 2 It is assumed that the resistance of the shield is approximately equal to the resistance of all line conductors in parallel.

NOTE 3 The shapes 10/350 µs and 8/20 µs current impulses are used for testing of SPDs type I and type II respectively as per IEC 61643-11[14].

Bibliography

- [1] IEC 62561 (all parts), *Lightning protection system components (LPSC)*
 - [2] IEC 62305-2:2024, *Protection against lightning – Part 2: Risk management*
 - [3] IEC 62793, *Thunderstorm warning systems – Protection against lightning*
 - [4] IEC 61400-24, *Wind energy generation systems – Part 24: Lightning protection*
 - [5] IEC 61000-4-5, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-5: Testing and measurement techniques – Surge immunity test*
 - [6] IEC 61643-31, *Low-voltage surge protective devices – Part 31: Requirements and test methods for SPDs for photovoltaic installations*
 - [7] IEC 62475, *High-current test techniques – Definitions and requirements for test currents and measuring systems*
 - [8] Heidler F., Flisowski Z., Zischank W., Bouquegneau Ch., Mazzetti C., *Parameters of Lightning Current given in IEC 62305 – Background, Experience and Outlook*, Invited Paper at 29th International Conference on Lightning Protection, 23rd – 26th June 2008 – Uppsala, Sweden
 - [9] Berger K., Anderson R.B., Kröninger H., *Parameters of lightning flashes*. CIGRE Electra No 41 (1975), p. 23 – 37
 - [10] Anderson R.B., Eriksson A.J., *Lightning parameters for engineering application*. CIGRE Electra No 69 (1980), p. 65 – 102
 - [11] CIGRE Workgroup C4.407, *Lightning Parameters for Engineering Applications*, Technical Brochure 549, August 2013
 - [12] Cianos N., Pierce E.T., *A Ground-Lightning Environment for Engineering Usage*, SRI Project 1834 Technical Report 1, Stanford Research Institute, Menlo Park, CA, USA, August 1972.
 - [13] IEEE working group report, *Estimating lightning performance of transmission lines-Updates to analytical models*. IEEE Transactions on Power Delivery, Volume 8, n. 3, July 1993
 - [14] IEC 61643 (all parts), *Low-voltage surge protective devices*
 - [15] Meppelink, J., "The impact of a lightning stroke on a flat roof when the building is filled with water". 24th International Conference on Lightning Protection, 1998, Birmingham, UK.
 - [16] IEC 60071-2:2023, *Insulation co-ordination – Part 2: Application guidelines*
 - [17] IEC 61643-21, *Low-voltage surge protective devices – Part 21: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks – Performance requirements and testing methods*
 - [18] IEC 60364-5-53, *Low-voltage electrical installations – Part 5-53: Selection and erection of electrical equipment – Devices for protection for safety, isolation, switching, control and monitoring*
 - [19] ITU-T Recommendation K.67, *Expected surges on telecommunications and signalling networks due to lightning*
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	80
INTRODUCTION.....	82
1 Domaine d'application	84
2 Références normatives	84
3 Termes et définitions	84
4 Paramètres du courant de foudre.....	92
5 Dommages dus à la foudre	92
5.1 Dommages sur la structure	92
5.1.1 Généralités	92
5.1.2 Effets de la foudre sur une structure	92
5.1.3 Sources et causes de dommages sur une structure	94
5.2 Types de pertes	95
6 Nécessité d'une protection contre la foudre	96
6.1 Risque et fréquence	96
6.2 Nécessité d'une protection contre la foudre pour une réduction du risque R	96
6.3 Nécessité d'une protection contre la foudre pour une réduction de la fréquence des dommages F	97
7 Mesures de protection	97
7.1 Généralités	97
7.2 Mesures de protection destinées à réduire les blessures sur des êtres humains par choc électrique	98
7.3 Mesures de protection destinées à réduire les dommages physiques	98
7.4 Mesures de protection destinées à réduire les défaillances des réseaux internes	98
7.5 Choix des mesures de protection	99
8 Critère de base pour la protection des structures	99
8.1 Généralités	99
8.2 Niveaux de protection contre la foudre (NPF).....	99
8.3 Zones de protection contre la foudre (ZPF)	101
8.4 Protection des structures	104
8.4.1 Protection pour réduire les dommages physiques et le danger de mort.....	104
8.4.2 Protection pour réduire les défaillances des réseaux internes	105
Annexe A (informative) Paramètres du courant de foudre	107
A.1 Coups de foudre à la terre	107
A.2 Paramètres du courant de foudre	110
A.3 Détermination des valeurs maximales du courant de foudre pour le NPF I	115
A.3.1 Généralités	115
A.3.2 Premier coup de foudre positif et coup de foudre de longue durée	115
A.3.3 Premier coup négatif	116
A.3.4 Coup subséquent.....	116
A.4 Détermination des valeurs minimales du courant de foudre.....	117
Annexe B (informative) Fonctions temporelles du courant de foudre à des fins d'analyse	118
Annexe C (informative) Simulation du courant de foudre aux fins d'essais	123
C.1 Généralités	123
C.2 Simulation de l'énergie spécifique du premier coup de foudre positif et de la charge du coup de foudre de longue durée	123

C.3	Simulation de la raideur du courant de montée des chocs	124
Annexe D (informative) Paramètres d'essai qui simulent les effets du courant de foudre sur les composants des systèmes de protection contre la foudre (SPF)		
D.1	Généralités	127
D.2	Paramètres du courant relatifs au point d'impact	127
D.3	Répartition du courant	128
D.4	Effets du courant de foudre qui entraînent des dommages éventuels	129
D.4.1	Effets thermiques	129
D.4.2	Effets mécaniques	133
D.4.3	Effets combinés	137
D.4.4	Étincelles	137
D.4.5	Ionisation du sol	137
D.5	Composants des SPF, problèmes afférents et paramètres d'essai	137
D.5.1	Généralités	137
D.5.2	Dispositif de capture	138
D.5.3	Conducteurs de descente	138
D.5.4	Composants de connexion	139
D.5.5	Prises de terre	140
D.6	Parafoudres (SPD)	140
D.6.1	Généralités	140
D.6.2	Parafoudres avec éclateurs	141
D.6.3	Parafoudres avec des varistances à oxyde métallique	141
D.7	Récapitulatif des paramètres d'essai à retenir lors des essais des composants des parafoudres	142
Annexe E (Informative) Courants de surcharge dus à la foudre en différents points de l'installation		
E.1	Généralités	143
E.2	Courants de surcharge dus à des coups sur la structure (source de dommages S1)	143
E.2.1	Courants de surcharge qui circulent dans les éléments conducteurs extérieurs et les lignes connectées à la structure	143
E.2.2	Facteurs qui influencent la répartition du courant de foudre et la charge associée dans les lignes de puissance	144
E.2.3	Courants de surcharge qui circulent dans les conducteurs de ligne connectés à la structure	144
E.2.4	Courants de surcharge qui circulent dans les éléments conducteurs et les câbles internes de la structure connectée au SPF	145
E.2.5	Courants de surcharge qui circulent dans des câbles connectés à différents points d'un réseau de prises de terre dans le même réseau de prises de terre	146
E.3	Courants de surcharge dus à des coups sur les lignes (source de dommages S3)	146
E.4	Chocs dus à des impacts à proximité des lignes (source de dommages S4)	147
E.5	Courants de choc dus à des effets d'induction (sources de dommages S1 ou S2)	148
E.5.1	Généralités	148
E.5.2	Chocs dans une ZPF 1 non écrantée	148
E.5.3	Chocs dans des ZPF écrantées	149
E.6	Courants de surcharge conventionnels	149
Bibliographie		152

Figure 1 – Articulation entre les différentes parties de la série IEC 62305.....	83
Figure 2 – Zones de protection contre la foudre (ZPF) définies par un SPF (IEC 62305-3).....	103
Figure 3 – Zones de protection contre la foudre (ZPF) définies par un SPF et une MPF (IEC 62305-4).....	104
Figure A.1 – Définition des paramètres de courant de choc selon l'IEC 62475 [7]	107
Figure A.2 – Définitions des paramètres d'un coup de foudre de longue durée.....	108
Figure A.3 – Représentation schématique (non à l'échelle) des composantes possibles d'éclairs descendants (habituels en plaine et sur des structures peu élevées) et d'éclairs descendants à décharges multiples.....	108
Figure A.4 – Représentation schématique (non à l'échelle) des composantes possibles d'éclairs ascendants (habituels sur des structures exposées ou élevées ou les deux).....	109
Figure A.5 – Fréquence de distribution cumulative des paramètres du courant de foudre (ligne discontinue à 50 %).....	114
Figure B.1 – Forme de la montée du courant du premier coup positif.....	119
Figure B.2 – Forme du courant sur la queue du premier coup positif.....	119
Figure B.3 – Forme de la montée du courant du premier coup négatif.....	120
Figure B.4 – Forme du courant sur la queue du premier coup négatif.....	120
Figure B.5 – Forme de la montée du courant des coups négatifs subséquents.....	121
Figure B.6 – Forme du courant sur la queue des coups négatifs subséquents.....	121
Figure B.7 – Densité du courant de foudre pour le NPF I.....	122
Figure C.1 – Exemple de générateur d'essai pour la simulation de l'énergie spécifique du premier coup de foudre positif et pour la charge du coup de foudre de longue durée	124
Figure C.2 – Définition de la raideur du courant conformément au Tableau C.3	125
Figure C.3 – Exemple de générateur d'essai pour la simulation de la raideur de montée du premier coup positif sur des appareils d'essais imposants.....	125
Figure C.4 – Exemple de générateur d'essai pour la simulation de la raideur de montée des coups négatifs subséquents sur des appareils d'essais imposants	126
Figure D.1 – Disposition générale de deux conducteurs pour le calcul de la force électrodynamique	134
Figure D.2 – Disposition type des conducteurs d'un SPF	135
Figure D.3 – Diagramme des contraintes F pour la configuration de la Figure D.2	135
Figure D.4 – Force par unité de longueur F' le long du conducteur horizontal de la Figure D.2.....	136
Tableau 1 – Effets de la foudre sur des structures types.....	93
Tableau 2 – Sources de dommages, causes de dommages et types de pertes en fonction du point d'impact	95
Tableau 3 – Valeurs maximales des paramètres de foudre qui correspondent aux niveaux de protection contre la foudre	100
Tableau 4 – Valeurs minimales des paramètres de foudre et rayon de sphère fictive associé qui correspondent aux niveaux de protection contre la foudre	101
Tableau 5 – Probabilités des limites des paramètres du courant de foudre	101
Tableau A.1 – Valeurs des paramètres du courant de foudre (CIGRE [9], [10], [11])	111
Tableau A.2 – Distribution logarithmique normale des paramètres de courant de foudre – Moyenne μ et dispersion $\sigma_{\log}$ calculées à partir des valeurs pour 5 % et 95 % (CIGRE [9], [10], [11]).....	112

Tableau A.3 – Valeurs de probabilité P comme fonction de la valeur de crête du courant de foudre I	113
Tableau B.1 – Paramètres pour l'Équation (B.1)	118
Tableau C.1 – Paramètres d'essai du premier coup positif	124
Tableau C.2 – Paramètres d'essai du coup de foudre de longue durée	124
Tableau C.3 – Paramètres d'essai des coups	125
Tableau D.1 – Récapitulatif des paramètres de menace de foudre à prendre en compte pour le calcul des valeurs d'essais pour différents composants des SPF et pour différents NPF	128
Tableau D.2 – Caractéristiques physiques de matériaux types utilisés dans les composants des SPF	131
Tableau D.3 – Élévation de température de conducteurs de différentes sections en fonction de W/R	131
Tableau E.1 – Courants de surcharge conventionnels dus à des impacts de foudre sur des réseaux basse tension	150
Tableau E.2 – Courants de surcharge conventionnels dus à des coups de foudre sur des réseaux de communication	151

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62305-1:2024

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PROTECTION CONTRE LA FOUDRE –

Partie 1: Principes généraux

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Électrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. À cet effet, l'IEC - entre autres activités - publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). 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 l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC 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 l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'IEC attire l'attention sur le fait que la mise en application du présent document peut entraîner l'utilisation d'un ou de plusieurs brevets. L'IEC ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à l'applicabilité de tout droit de brevet revendiqué à cet égard. À la date de publication du présent document, l'IEC n'avait pas reçu notification qu'un ou plusieurs brevets pouvaient être nécessaires à sa mise en application. Toutefois, il y a lieu d'avertir les responsables de la mise en application du présent document que des informations plus récentes sont susceptibles de figurer dans la base de données de brevets, disponible à l'adresse <https://patents.iec.ch>. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets.

L'IEC 62305-1 a été établie par le comité d'études 81: Protection contre la foudre. Il s'agit d'une Norme internationale.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition parue en 2010. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) à l'Annexe D, il est fait référence à la série IEC 62561 [1]¹ pour faire le lien avec les composants des systèmes de protection contre la foudre correspondants selon la série IEC 62561;
- b) la gestion des risques introduit le concept des types de pertes qui revêtent une importance publique;
- c) introduction du concept de fréquence des dommages qui peuvent influencer la disponibilité des réseaux internes à la structure;
- d) les courants de surcharge dus aux coups de foudre ont été spécifiés avec davantage de précision pour le dimensionnement des SPD dans des systèmes d'alimentation basse tension et dans les réseaux de communication.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
81/737/FDIS	81/756/RVD

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

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/publications.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62305, publiées sous le titre général *Protection contre la foudre*, se trouve sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé, ou
- révisé.

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

INTRODUCTION

Il n'existe pas de dispositifs ni de méthodes capables de modifier les phénomènes naturels au point de pouvoir empêcher les décharges de foudre. Les coups de foudre sur ou à proximité des structures (ou des lignes connectées aux structures) sont dangereux pour les personnes, les structures elles-mêmes, leur contenu, les installations et les lignes. C'est pourquoi l'application de mesures de protection contre la foudre est essentielle.

Il convient de déterminer le besoin en matière de protection, les bénéfices économiques de la mise en œuvre de mesures de protection et le choix de mesures de protection appropriées par évaluation des risques. La méthode d'évaluation des risques fait l'objet de l'IEC 62305-2 [2].

NOTE En Allemagne, le besoin de protection contre la foudre est déterminé par, et la classe du système de protection contre la foudre exigé doit être sélectionnée conformément à, une annexe nationale à la troisième édition de l'IEC 62305-1 (y compris une option de l'évaluation du risque selon la troisième édition de l'IEC 62305-2).

Il a été démontré que les mesures de protection envisagées dans la série IEC 62305 réduisent efficacement les risques.

L'ensemble des mesures de protection contre la foudre constitue la protection globale contre la foudre. Pour des raisons pratiques, les critères de conception, de mise en œuvre et de maintenance des mesures de protection contre la foudre sont analysés dans deux parties distinctes:

- une première partie concernant les mesures de protection qui visent à réduire les dommages physiques et les dangers pour les personnes au sein d'une structure fait l'objet de l'IEC 62305-3;
- une deuxième partie concernant les mesures de protection qui visent à réduire les défaillances des réseaux de puissance et de communication au sein d'une structure fait l'objet de l'IEC 62305-4.

L'articulation entre les différentes parties de la série IEC 62305 est représentée à la Figure 1.

NOTE La mise en œuvre d'un système d'alerte aux orages conforme à l'IEC 62793 [3] dans le cadre des mesures de protection d'une structure peut contribuer à réduire les dommages physiques, les dangers de mort et les défaillances des réseaux de puissance et de communication.

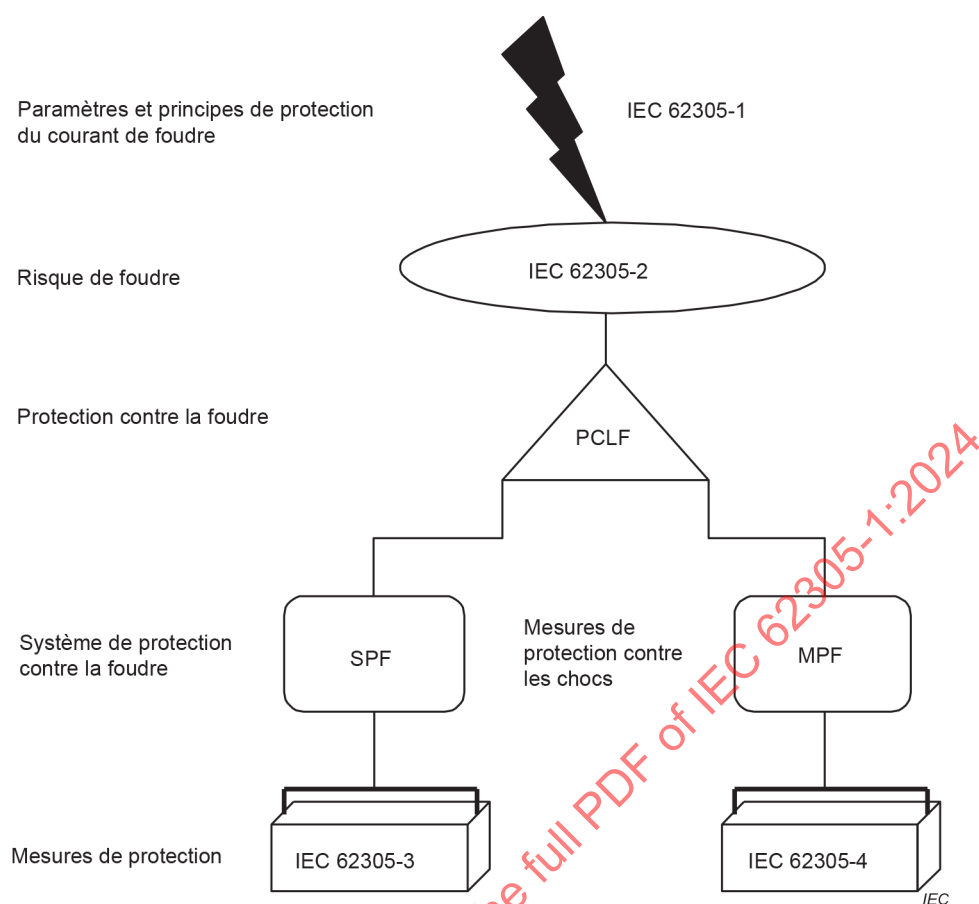


Figure 1 – Articulation entre les différentes parties de la série IEC 62305

PROTECTION CONTRE LA FOUDRE –

Partie 1: Principes généraux

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62305 fournit des principes généraux de protection des structures contre la foudre, y compris leurs installations, leur contenu et les personnes qui s'y trouvent.

Les cas suivants ne relèvent pas du domaine d'application du présent document:

- chemins de fer;
- véhicules, navires, avions, installations en mer;
- canalisations enterrées à haute pression;
- canalisations, lignes de puissance et de communication séparées de la structure;
- centrales nucléaires de puissance.

Il convient de considérer la série IEC 62305 comme une exigence minimale pour ces structures.

En attendant la mise à disposition de nouvelles informations par le CIGRE, les paramètres du courant de foudre décrits dans le présent document peuvent également s'appliquer aux installations en mer.

NOTE 1 Dans de tels cas, les structures sont généralement régies par des règlements particuliers émis par différentes autorités compétentes. La série IEC 62305 reste applicable pour les structures (subsidiaries ou autres) qui ne sont pas régies par ces règlements particuliers.

NOTE 2 La protection contre la foudre des éoliennes est également couverte par l'IEC 61400-24 [4].

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 62305-3:2024, *Protection contre la foudre – Partie 3: Dommages physiques sur les structures et risques humains*

IEC 62305-4:2024, *Protection contre la foudre – Partie 4: Réseaux de puissance et de communication dans les structures*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <https://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>

3.1

coup de foudre à la terre

décharge électrique d'origine atmosphérique entre un nuage et la terre, qui consiste en un ou plusieurs coups de foudre

3.2

éclair descendant

éclair initié par un précurseur descendant du nuage vers le sol

Note 1 à l'article: Un éclair descendant comprend un premier coup de foudre de courte durée qui peut être suivi d'autres coups de foudre de courte durée subséquents. Un ou plusieurs coups de foudre de courte durée peuvent aussi être suivis d'un coup de foudre de longue durée.

3.3

éclair ascendant

éclair initié par un précurseur ascendant d'une structure mise à la terre vers le nuage

Note 1 à l'article: Un éclair ascendant comprend un premier coup de foudre de longue durée avec ou sans chocs multiples superposés. Un ou plusieurs chocs peuvent être suivis d'un coup de foudre de longue durée.

3.4

coup de foudre

simple décharge électrique lors d'un coup de foudre à la terre

3.5

coup de foudre de courte durée

partie du coup de foudre qui correspond à un courant de choc

Note 1 à l'article: Ce courant présente un temps T_2 jusqu'à mi-valeur du courant de crête sur la queue généralement inférieur à 2 ms (voir Figure A.1).

3.6

coup de foudre de longue durée

partie du coup de foudre qui correspond à un courant de suite

Note 1 à l'article: La durée T_{LONG} de ce courant de suite est généralement supérieure à 2 ms et inférieure à 1 s (voir Figure A.2).

3.7

coup de foudre à décharges multiples

coup de foudre qui comprend un nombre moyen de trois à quatre décharges, avec un intervalle de temps type entre les décharges d'environ 50 ms

Note 1 à l'article: Des phénomènes qui présentent jusqu'à plusieurs dizaines de décharges et des intervalles de temps entre les décharges de 10 ms à 250 ms ont été observés.

3.8

point d'impact

point où un coup de foudre frappe la terre ou une structure (par exemple un bâtiment, un système de protection contre la foudre (SPF), une ligne, un arbre)

Note 1 à l'article: Un coup de foudre peut avoir plusieurs points d'impact.

3.9

courant de foudre

i

courant qui s'écoule au point d'impact

3.10

valeur de crête du courant

I

valeur maximale du courant de foudre

3.11

raideur moyenne du courant de montée

di/dt

valeur maximale du courant de choc I divisée par le temps de montée du choc T_1

Note 1 à l'article: Voir 3.10, 3.12 et Figure A.1.

3.12

temps de montée du courant de choc

T_1

paramètre virtuel défini comme 1,25 fois l'intervalle de temps entre les instants où 10 % et 90 % de la valeur de crête sont atteints

VOIR: Figure A.1.

3.13

origine virtuelle du courant de choc

O_1

point d'intersection avec l'axe du temps d'une droite tracée entre les points de référence 10 % et 90 % sur le temps de montée, qui précède de $0,1 T_1$ l'instant auquel le courant atteint 10 % de sa valeur de crête

VOIR: Figure A.1.

3.14

temps jusqu'à mi-valeur sur la queue du courant de choc

T_2

paramètre virtuel défini comme l'intervalle de temps entre l'origine virtuelle O_1 et l'instant auquel le courant a décru jusqu'à mi-valeur du courant de crête sur la queue

VOIR: Figure A.1.

3.15

durée de l'éclair

T

durée pendant laquelle le courant de foudre s'écoule au point d'impact

3.16

durée d'un courant de choc de longue durée

T_{LONG}

durée pendant laquelle le courant d'un coup de foudre de longue durée est compris entre 10 % de la valeur de crête lors de la montée du courant de suite et 10 % de la valeur de crête lors de la décroissance du courant de suite

VOIR: Figure A.2.

3.17

charge d'éclair

Q_{FLASH}

valeur qui résulte de l'intégrale du temps du courant de foudre sur la durée totale de l'éclair

3.18

charge du coup de foudre de courte durée

Q_{SHORT}

valeur qui résulte de l'intégrale du temps du courant de foudre dans un choc

3.19**charge du coup de foudre de longue durée** Q_{LONG}

valeur qui résulte de l'intégrale du temps du courant de foudre dans un coup de foudre de longue durée

3.20**énergie spécifique** W/R

valeur qui résulte de l'intégrale du temps du carré du courant de foudre sur la durée totale de l'éclair

Note 1 à l'article: L'énergie spécifique représente l'énergie dissipée par le courant de foudre dans une résistance d'unité.

3.21**énergie spécifique du courant de choc**

valeur qui résulte de l'intégrale du temps du carré du courant de foudre pendant la durée du choc

Note 1 à l'article: L'énergie spécifique d'un courant de choc de longue durée est négligeable.

3.22**structure à protéger**

tout endroit, installation ou bâtiment susceptible de contenir des personnes, des animaux, des matériaux ou des systèmes

Note 1 à l'article: Une structure à protéger peut faire partie d'une structure de plus grandes dimensions.

3.23**ligne**

ligne de puissance ou de communication extérieure connectée à la structure à protéger

3.24**ligne de communication**

ligne prévue pour la communication entre des équipements qui peuvent être situés dans des structures distinctes, telle qu'une ligne téléphonique et une ligne pour la transmission de données

3.25**ligne de puissance**

ligne de distribution qui alimente en énergie électrique les matériels électriques et électroniques d'une structure, tels que les réseaux électriques basse tension (BT) ou haute tension (HT)

3.26**coup de foudre sur une structure**

coup de foudre qui frappe une structure

3.27**coup de foudre à proximité d'une structure**

coup de foudre qui frappe suffisamment près d'une structure pour pouvoir causer des surtensions dangereuses

3.28**coup de foudre sur une ligne**

coup de foudre qui frappe une ligne connectée à une structure

3.29

coup de foudre à proximité d'une ligne

coup de foudre qui frappe suffisamment près d'une ligne connectée à une structure pour pouvoir causer des surtensions dangereuses à l'intérieur de la structure

3.30

événement dangereux

coup de foudre sur ou à proximité d'une structure, ou sur ou à proximité d'une ligne connectée à la structure, qui peut provoquer des dommages à l'intérieur de la structure

3.31

étincelage dangereux

étincelle à l'intérieur de la structure où circule un courant de foudre, qui déclenche un incendie ou une explosion ou provoque des effets mécaniques et chimiques qui peuvent également mettre en danger l'environnement

3.32

réseau de puissance

réseau qui comprend des composants de l'alimentation de puissance basse tension

3.33

réseau de communication

réseau qui comprend des composants électroniques sensibles tels que le matériel de communication, les systèmes informatiques, de commande et d'instrumentation, les systèmes radio et les installations électroniques de puissance

3.34

réseaux internes

réseaux de puissance et de communication d'une structure

Note 1 à l'article: Les réseaux internes peuvent par exemple se trouver sur le toit de la structure, à condition d'être connectés en interne à la structure.

3.35

dommages physiques

dommage subi par une structure (ou son contenu) en raison des effets mécaniques, thermiques, chimiques et explosifs de la foudre

3.36

blessures sur des êtres humains

blessures, y compris la mort, de personnes causées par la foudre

3.37

défaillance des réseaux internes

dommages causés aux réseaux internes dus à l'IEMF

3.38

impulsion électromagnétique de foudre

IEMF

champ électromagnétique qui varie rapidement dans le temps et est émis par la foudre, qui peut créer des chocs par couplage résistif, inductif et capacitif aux circuits

3.39

choc

onde transitoire formée dans les lignes et le matériel qui crée une surtension ou une surintensité ou les deux, due à l'IEMF

3.40**zone de protection contre la foudre****ZPF**

zone dont l'environnement électromagnétique est défini

Note 1 à l'article: Les frontières d'une ZPF ne sont pas nécessairement physiques (par exemple parois, plancher, plafond).

3.41**fréquence des dommages** **F**

valeur du nombre annuel d'événements qui provoquent des dommages dus aux IEMF qui peuvent survenir sur les réseaux internes d'une structure

3.42**fréquence tolérable des dommages** **F_T**

valeur maximale de la fréquence des dommages qui peut être tolérée pour les réseaux internes de la structure ou d'une zone à protéger

3.43**pertes** **L**

coût moyen d'un type spécifié de pertes consécutives à un événement dangereux dans la zone concernée d'une structure

3.44**pertes d'importance publique**

pertes dont les conséquences affectent davantage de personnes que celles qui sont impliquées dans le processus de prise de décision, par exemple conséquences externes, blessures sur des êtres humains, indisponibilité des services fournis à la population, y compris dommages physiques, dommages environnementaux et frais que la société doit payer

EXEMPLE Les coûts des mesures d'urgence pour limiter les dommages, les coûts induits par la perte de la structure et de la production, les coûts de reconstruction.

3.45**service**

fonction réalisée par les réseaux internes à la structure afin de répondre à un besoin spécifique

3.46**service d'importance publique**

service fourni à la population et service qui implique un patrimoine d'intérêt culturel

3.47**risque** **R**

perte moyenne annuelle probable due à la foudre, subie par une structure ou une zone spécifique de la structure

3.48**risque tolérable** **R_T**

valeur maximale du risque qui peut être tolérée pour la structure à protéger

3.49

niveau de protection contre la foudre

NPF

chiffre lié à un ensemble de paramètres du courant de foudre et relatif à la probabilité que les valeurs de conception associées maximales et minimales ne soient pas dépassées lorsque la foudre apparaît de manière naturelle

Note 1 à l'article: Le niveau de protection contre la foudre est utilisé pour prévoir des mesures de protection conformément à l'ensemble approprié de paramètres du courant de foudre.

3.50

mesures de protection

mesures adoptées pour la structure à protéger afin de réduire le risque

3.51

protection contre la foudre

PCLF

mesures prises pour protéger des structures contre les effets de la foudre, y compris leurs réseaux internes, leur contenu et les personnes qui s'y trouvent, comprenant généralement un SPF et une MPF

3.52

système de protection contre la foudre

SPF

système complet utilisé pour réduire les dangers de blessures sur des êtres humains et de dommages physiques dus aux coups de foudre sur une structure

Note 1 à l'article: Un système de protection contre la foudre comprend à la fois un système de protection contre la foudre extérieur et un système de protection contre la foudre intérieur. Des mesures conformes à l'IEC 62305-4 sont nécessaires pour protéger les réseaux internes des effets de l'IMF.

3.53

système de protection contre la foudre extérieur

partie du SPF qui comprend un dispositif de capture, un réseau de conducteurs de descente et un réseau de prises de terre

3.54

système de protection contre la foudre intérieur

partie du SPF qui comprend la liaison équipotentielle de foudre ou la séparation électrique d'un SPF extérieur ou les deux

3.55

dispositif de capture

partie d'un SPF extérieur qui utilise des éléments métalliques tels que des tiges, des mâts, des mailles conductrices ou des fils tendus, destinés à intercepter les coups de foudre

3.56

réseau de conducteurs de descente

partie d'un SPF extérieur destinée à conduire le courant de foudre du dispositif de capture au réseau de prises de terre

3.57

réseau de prises de terre

partie d'un SPF extérieur destinée à conduire et à dissiper le courant de foudre à la terre

3.58

parties conductrices extérieures

parties métalliques qui pénètrent dans la structure à protéger ou en sortent, telles que canalisations, éléments de câbles métalliques, conduits métalliques, qui peuvent écouler une partie du courant de foudre

3.59**liaison équipotentielle de foudre****EB**

interconnexion des parties métalliques du SPF, par des connexions directes ou par des parafoudres, qui réduit les différences de potentiel engendrées par le courant de foudre

Note 1 à l'article: L'abréviation "EB" est dérivée du terme anglais développé correspondant "equipotential bonding".

3.60**résistance de terre conventionnelle**

rapport entre les valeurs de crête de la tension et du courant dans la prise de terre qui, en général, ne se produisent pas simultanément

3.61**mesures de protection contre les chocs****MPF**

mesures prises pour protéger les réseaux internes contre les effets de l'IMPF

Note 1 à l'article: Les mesures de protection contre les chocs font partie de la protection globale contre la foudre.

3.62**blindage électromagnétique**

écran en matériau conducteur destiné à réduire la pénétration d'un champ électromagnétique qui varie dans le temps dans la structure à protéger, ou une partie de celle-ci, afin de réduire les défaillances des réseaux internes

3.63**parafoudre****SPD**

dispositif qui inclut au moins un composant non linéaire et qui est destiné à limiter les surtensions transitoires et évacuer les courants de surcharge

Note 1 à l'article: L'abréviation "SPD" est dérivée du terme anglais développé correspondant "surge protective device".

3.64**système de protection par parafoudres coordonnés**

ensemble de parafoudres choisis, coordonnés et mis en œuvre de manière appropriée afin de constituer un réseau destiné à réduire les défaillances des réseaux internes

3.65**interfaces d'isolement**

dispositifs capables de réduire les chocs conduits sur les lignes qui pénètrent dans la ZPF

Note 1 à l'article: Les interfaces d'isolement comprennent des transformateurs d'isolement à écran mis à la terre entre les enroulements, les câbles à fibre optique non métalliques et les opto-isolateurs.

Note 2 à l'article: Il convient que les caractéristiques de tenue d'isolement de ces dispositifs soient adaptées à cette application de manière intrinsèque ou au moyen d'un SPD.

3.66**distance de séparation**

s

distance nécessaire entre un conducteur qui transporte un courant de foudre total ou partiel et d'autres parties conductrices afin d'éviter l'étincelage dangereux

3.67**distance de sécurité**

d_s

distance nécessaire entre les réseaux internes et l'écran de la ZPF, à laquelle l'effet d'écran de la ZPF contre l'influence du champ magnétique est réputé valide

4 Paramètres du courant de foudre

Les paramètres du courant de foudre utilisés dans la série IEC 62305 sont donnés à l'Annexe A.

L'Annexe B donne la fonction temporelle du courant de foudre à utiliser à des fins d'analyse.

L'Annexe C donne des informations pour la simulation du courant de foudre à des fins d'essais.

L'Annexe D donne les paramètres essentiels à utiliser dans les laboratoires pour simuler les effets de la foudre sur les composants des SPF.

L'Annexe E donne des informations sur les chocs dus à la foudre en différents points de l'installation.

5 Dommages dus à la foudre

5.1 Dommages sur la structure

5.1.1 Généralités

La foudre qui frappe une structure peut entraîner des dommages sur cette structure, sur ses occupants et sur les biens qu'elle contient, y compris des défaillances des réseaux internes. Les dommages et les défaillances peuvent aussi s'étendre dans l'environnement de la structure et peuvent impliquer l'environnement local. Cette extension est fonction des caractéristiques de la structure et des caractéristiques du coup de foudre.

5.1.2 Effets de la foudre sur une structure

Les caractéristiques principales des structures concernant les effets de la foudre sont les suivantes:

- les matériaux de construction (par exemple bois, brique, béton, béton armé, armatures métalliques);
- la fonction (habitation, bureau, ferme, théâtre, hôtel, école, hôpital, musée, église, prison, magasin, banque, usine, site industriel, terrain de sports);
- les occupants et les biens (personnes et animaux, matériaux non inflammables, matériaux inflammables, mélanges explosifs ou non explosifs, matières radioactives, matériaux biochimiques dangereux, réseaux de puissance et de communication à haute ou basse tension de choc assignée);
- les lignes connectées (lignes de puissance, lignes de communication), les canalisations;
- les systèmes photovoltaïques, les systèmes de recharge pour véhicules, les installations de téléphonie mobile;
- les mesures de protection fournies ou existantes (mesures de protection pour réduire les dommages physiques et le danger de mort, mesures de protection pour limiter la défaillance des réseaux internes);
- l'échelle d'extension du danger (structure avec difficulté d'évacuation ou structure où un mouvement de panique peut survenir, structure qui présente un danger pour les alentours ou pour l'environnement).

Le Tableau 1 donne des exemples des effets de la foudre sur différents types de structures.

Tableau 1 – Effets de la foudre sur des structures types

Type de structure selon sa fonction ou son contenu ou les deux	Effets de la foudre
Habitation	Perforation des installations électriques, incendie et dommages matériels Dommages normalement limités aux structures exposées au point d'impact ou aux cheminements du courant de foudre Défaillances des matériels électriques et électroniques et des réseaux (par exemple téléviseurs, ordinateurs, modems, téléphones)
Ferme	Risque primaire d'incendie et de tensions de pas dangereuses en plus des dommages matériels Risque secondaire dû à la perte de l'alimentation électrique et danger de mort pour le bétail en raison de la défaillance de la commande électronique de la ventilation et des systèmes de distribution de nourriture, etc.
Théâtre Hôtel École Magasin Terrain de sports	Dommages dans l'installation électrique (par exemple éclairage) susceptibles de provoquer un mouvement de panique Défaillance des alarmes incendie et retards des mesures anti-incendie
Banque Compagnie d'assurance Compagnie commerciale, etc.	Comme tous les types de structures répertoriés ci-dessus avec en complément des problèmes dus à la perte des communications, à la défaillance des ordinateurs et à la perte des données
Hôpital Maison de retraite Prison	Comme tous les types de structures répertoriés ci-dessus avec en complément des problèmes pour les personnes en soins intensifs et des difficultés d'évacuation des personnes
Site industriel	Effets complémentaires en fonction des produits fabriqués, allant de la dégradation mineure aux dégâts inacceptables avec perte de production
Musée et site archéologique Église	Pertes irremplaçables de l'héritage culturel
Infrastructure de communication Centrales	Pertes inacceptables de services pour le public
Usine d'artifices Usine de munitions	Conséquences d'incendie et d'explosion pour le site et son environnement
Mine à ciel ouvert	Risque de tensions de pas dangereuses Risque de dommage pour l'installation et les machines mobiles, notamment explosions de pneus
Mine souterraine	Risque de tensions de pas dangereuses Risque dû à la perte de puissance électrique Risque d'explosion de gaz méthane ou d'incendie dû aux poussières de charbon
Usine chimique Raffinerie Laboratoires et sites biochimiques	Incendie et dysfonctionnements sur le site avec des conséquences nuisibles pour l'environnement local et global

5.1.3 Sources et causes de dommages sur une structure

Le courant de foudre est la source de dommages. Les sources de dommages suivantes doivent être prises en compte selon la situation du point d'impact sur la structure:

S1: impacts sur la structure;

S2: impacts à proximité de la structure;

S3: impacts sur les lignes connectées à la structure;

S4: impacts à proximité des lignes connectées à la structure.

a) Les impacts sur la structure peuvent provoquer:

- dommages mécaniques directs, incendie ou explosion ou les deux dus à l'arc de plasma de la foudre lui-même, dus au courant qui provoque un échauffement ohmique des conducteurs (conducteurs surchauffés) ou dus à la charge qui provoque une corrosion électrique (fusion du métal);
- incendie ou explosion ou les deux déclenchés par des étincelles causées par des surtensions de couplage résistif et inductif et par l'écoulement partiel des courants de foudre;
- blessures sur des êtres humains causées par un choc électrique qui résulte d'un coup de foudre direct ou par des couplages résistifs et inductifs;
- défaillances ou dysfonctionnements des réseaux internes dus à l'IEMF.

b) Les impacts à proximité de la structure peuvent provoquer:

- défaillances ou dysfonctionnements des réseaux internes dus à l'IEMF.

c) Les impacts sur les lignes connectées à la structure peuvent provoquer:

- incendie ou explosion ou les deux déclenchés par des étincelles provoquées par les surtensions et les courants de foudre transmis par les lignes connectées à la structure;
- blessures sur des êtres humains causées par les chocs électriques en raison des tensions de contact à l'intérieur de la structure provoquées par les courants de foudre transmis par la ligne connectée à la structure;
- défaillances ou dysfonctionnements des réseaux internes en raison des surtensions transmises par les lignes connectées à la structure.

d) Les impacts à proximité de lignes connectées à la structure peuvent provoquer:

- défaillances ou dysfonctionnements des réseaux internes en raison des surtensions induites sur les lignes connectées et transmises à la structure.

NOTE 1 Le dysfonctionnement de réseaux internes n'est pas couvert par la série IEC 62305. Se référer à l'IEC 61000-4-5 [5].

NOTE 2 Seules les étincelles qui véhiculent du courant de foudre (partiel ou total) sont considérées comme pouvant être la cause d'un incendie.

NOTE 3 Les coups de foudre directs ou à proximité des canalisations entrantes ne provoquent pas de dommages sur la structure si les canalisations sont reliées à la liaison équipotentielle de la structure (voir l'IEC 62305-3).

En conséquence, quatre types de dommages peuvent être distingués:

D_{1T}: choc électrique qui frappe des êtres humains à la suite d'un couplage résistif et inductif;

D_{1D}: choc électrique qui résulte d'un coup de foudre qui frappe directement des êtres humains;

D₂: étincelage dangereux à l'intérieur de la structure, qui déclenche un incendie ou une explosion ou provoque des effets mécaniques et chimiques, ou les deux, qui peuvent également mettre en danger l'environnement;

D₃: chocs dus à toutes les sources de dommages qui entraînent des défaillances des réseaux internes.

5.2 Types de pertes

Chaque type de dommage propre à la structure à protéger, qu'elle soit seule ou associée, peut entraîner différents types de pertes. Le type de perte qui peut apparaître dépend des caractéristiques de la structure elle-même.

Pour les besoins de la série IEC 62305, les types de pertes suivants, qui peuvent apparaître à la suite de coups de foudre, sont envisagés:

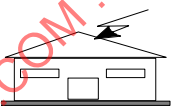
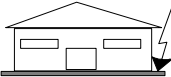
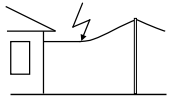
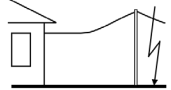
- L₁: pertes dues à des blessures sur des êtres humains provoquées par les causes D_{1D}, D_{1T}, D₂ voire D₃ dans les structures dans lesquelles une défaillance des réseaux internes met en danger la vie humaine, par exemple dans les structures avec un risque d'explosion et dans les hôpitaux;
- L₂: pertes dues aux dommages physiques de la structure et de son contenu. Ce type de dommage est associé aux causes D₂ et D₃ dans les structures avec un risque d'explosion;
- L₃: pertes dues à une défaillance des réseaux internes. Ce type de dommage est associé à la cause D₃.

Le calcul du risque s'applique à toutes les structures lorsque les types de pertes L₁ et L₂ sont d'importance publique.

Le type de perte L₃ peut altérer de manière inacceptable les services fournis par les réseaux internes de la structure et peut également affecter les services d'importance publique.

La correspondance entre les sources de dommages, les causes de dommages et les types de pertes est indiquée dans le Tableau 2.

Tableau 2 – Sources de dommages, causes de dommages et types de pertes en fonction du point d'impact

Point d'impact		Source de dommages	Types de dommages	Type de perte
Structure		S1	D _{1T}	L ₁
			D _{1D}	L ₁
			D ₂	L ₁ , L ₂
			D ₃	L ₁ ^a , L ₂ ^b
À proximité de la structure		S2	D ₃	L ₁ ^a , L ₂ ^b
Lignes connectées à la structure		S3	D _{1T}	L ₁
			D ₂	L ₁ , L ₂
			D ₃	L ₁ ^a , L ₂ ^b
À proximité des lignes connectées à la structure		S4	D ₃	L ₁ ^a , L ₂ ^b
^a Uniquement pour les structures dans lesquelles une défaillance des réseaux internes met en danger la vie humaine, par exemple dans les structures avec un risque d'explosion et dans les hôpitaux. ^b Uniquement pour les structures avec un risque d'explosion.				

6 Nécessité d'une protection contre la foudre

6.1 Risque et fréquence

Le risque R doit être évalué compte tenu de la sécurité des personnes (type de perte L_1) et de la structure et de son contenu (type de perte L_2).

Le risque R est évalué comme étant égal à la somme de ses composantes de risque en fonction de la source du dommage ou du type de perte; chaque composante de risque peut être exprimée par le produit

- du nombre N d'événements dangereux par année;
- de la probabilité P de dommage;
- de l'ampleur L des pertes qui résultent du dommage.

La fréquence des dommages F doit être évaluée pour le matériel à l'intérieur de la structure compte tenu de la disponibilité des services fournis (type de perte L_3).

La fréquence des dommages F peut être évaluée comme étant égale à la somme des fréquences partielles de dommage en fonction de la source du dommage; chaque fréquence partielle de dommage est exprimée par le produit du nombre N d'événements dangereux par année et de la probabilité P des dommages associés.

NOTE Des informations plus complètes sur l'évaluation du risque, les composantes de risque, la fréquence et les composantes de fréquence sont données dans l'IEC 62305-2.

6.2 Nécessité d'une protection contre la foudre pour une réduction du risque R

La protection contre la foudre est nécessaire si le risque R est supérieur au niveau de risque tolérable R_T .

$$R > R_T$$

Dans ce cas, des mesures de protection doivent être appliquées afin de réduire le risque R à un degré qui n'excède pas le niveau de risque tolérable R_T .

$$R \leq R_T$$

Les valeurs de risque tolérable R_T relèvent de la responsabilité de l'autorité compétente.

NOTE 1 Des organismes nationaux compétents peuvent fournir des recommandations pour déterminer si le risque R est également évalué conformément aux lois et réglementations nationales.

NOTE 2 Une autorité compétente peut spécifier le besoin d'une protection contre la foudre pour des applications particulières sans recourir à une évaluation du risque. Dans ce cas, le niveau de protection contre la foudre exigé est spécifié par cette autorité compétente.

NOTE 3 Des informations plus complètes sur l'évaluation du risque et sur les méthodes de choix des mesures de protection sont données dans l'IEC 62305-2.

6.3 Nécessité d'une protection contre la foudre pour une réduction de la fréquence des dommages F

Une protection contre la foudre qui permet de réduire la fréquence des dommages F est nécessaire si cette fréquence excède le niveau de risque tolérable F_T .

$$F > F_T$$

Dans ce cas, des mesures de protection doivent être appliquées afin de réduire la fréquence des dommages F à un degré qui n'excède pas le niveau de risque tolérable F_T .

$$F \leq F_T$$

Les valeurs de la fréquence tolérable des dommages F_T relèvent de la responsabilité des autorités compétentes lorsque le service exploité est d'importance publique.

Dans les autres cas, il convient que l'évaluation de la nécessité de réduire ou non la fréquence F et de fixer la valeur de la fréquence tolérable F_T relève de la responsabilité du propriétaire ou du gérant de la structure.

NOTE 1 Des organismes nationaux compétents peuvent fournir des recommandations pour déterminer si la fréquence des dommages F est également évaluée conformément aux lois et réglementations nationales.

NOTE 2 Une autorité compétente peut spécifier le besoin d'une protection contre la foudre pour des applications particulières sans recourir à une évaluation du risque. Dans ce cas, le niveau de protection contre la foudre exigé est spécifié par cette autorité compétente.

NOTE 3 Des informations plus complètes sur l'évaluation de la fréquence des dommages et sur les méthodes de choix des mesures de protection sont données dans l'IEC 62305-2.

7 Mesures de protection

7.1 Généralités

Des mesures de protection peuvent être appliquées afin de réduire le risque R et la fréquence des dommages F .

Les mesures de protection les plus couramment utilisées sont:

- les mesures de protection destinées à réduire les blessures sur des êtres humains par choc électrique (voir 7.2);
- les mesures de protection destinées à réduire les dommages physiques (voir 7.3);
- les mesures de protection destinées à réduire les défaillances des réseaux internes (voir 7.4).

En outre, les dispositifs activés au moyen d'un système d'alerte aux orages conforme à l'IEC 62793 [3] peuvent être utilisés comme mesure préventive afin de réduire le risque R et la fréquence F , indépendamment du type de perte. Les mesures de protection sont appliquées, le cas échéant, en fonction de l'alerte générée par ce système d'alerte.

NOTE 1 Un système d'alerte aux orages fournit des informations en temps réel sur l'activité électrique atmosphérique. Cela permet de réduire le risque R et la fréquence des dommages F par le biais de mesures préventives temporaires prédéfinies qui réduisent la durée d'exposition aux menaces ou coupent les lignes qui favorisent la conduction de chocs dans la structure, ou les deux. Dans certains cas de propagation rapide ou de formation locale d'orage, il est possible que le système d'alerte aux orages ne soit pas toujours assez rapide pour envoyer un signal d'alerte.

Exemples de dispositifs appropriés:

- a) arrêt des activités dangereuses;
- b) transfert des personnes en lieu sûr;
- c) déconnexion des services extérieurs et utilisation exclusive de sources locales.

Il convient que la déconnexion du disjoncteur (selon le point c) fournisse une tension de tenue suffisamment élevée pour éviter tout étincelage lors des chocs de foudre.

Si la tension de tenue du disjoncteur est trop faible, alors des SPD supplémentaires en amont du disjoncteur sont nécessaires. De plus, toutes les lignes doivent être déconnectées pour les conducteurs N ou les conducteurs PEN, ce qui peut ne pas être possible en raison des réglementations relatives au câblage. Le couplage inductif dans les boucles de câblage en raison d'événements S1 et S2 ne peut pas être réduit par cette déconnexion, ce qui exige une étude spécifique. Afin de protéger les réseaux de puissance et de communication en cas d'événements S3 et S4, il convient que la zone de surveillance du système d'alerte aux orages soit en mesure de couvrir non seulement la structure, mais également les lignes entrantes.

NOTE 2 La recommandation de mettre en œuvre des mesures de protection dépend des caractéristiques de l'activité effectuée, de la présence humaine dans les zones exposées et de la possibilité d'adopter des mesures préventives efficaces compte tenu des informations fournies par le système d'alerte aux orages.

NOTE 3 Le concepteur du parafoudre évalue la réduction du risque R et de la fréquence des dommages F obtenue au moyen du système d'alerte aux orages, ainsi que le degré de cette réduction, en se référant à un plan d'action pour les mesures de protection à appliquer parallèlement à l'utilisation du système d'alerte aux orages.

NOTE 4 L'IEC 62305-2:2024, Annexe B, fournit des informations supplémentaires sur les dispositions et les mesures qui permettent de réduire les différentes composantes de risque.

7.2 Mesures de protection destinées à réduire les blessures sur des êtres humains par choc électrique

Les mesures de protection possibles comprennent:

- un système de protection contre la foudre (SPF);
- une isolation appropriée des éléments conducteurs exposés;
- une équipotentialité;
- des restrictions physiques et des panneaux d'avertissement.

NOTE L'équipotentialité et une augmentation de la résistance de contact de la surface du sol à l'intérieur et à l'extérieur de la structure réduisent le danger de mort (voir l'IEC 62305-3:2024, Article 8).

7.3 Mesures de protection destinées à réduire les dommages physiques

La protection est réalisée par le système de protection contre la foudre (SPF) conformément à l'IEC 62305-3.

NOTE 1 Si un SPF est installé, l'équipotentialité est une mesure qui réduit les risques d'incendie, d'explosion et le danger de mort. Pour plus de détails, voir l'IEC 62305-3.

NOTE 2 Des dispositifs qui limitent le développement et la propagation d'un incendie tels que les compartiments étanches, les extincteurs, les bornes d'incendie et l'installation de dispositifs de détection et d'extinction d'incendie peuvent réduire les dommages physiques.

7.4 Mesures de protection destinées à réduire les défaillances des réseaux internes

Les mesures de protection contre les chocs (MPF) conformes à l'IEC 62305-4 comprennent:

- la mise à la terre et les liaisons équipotentielle;
- le blindage électromagnétique;
- le cheminement des réseaux;
- les interfaces d'isolement;

- les systèmes de protection par parafoudres coordonnés.

Ces mesures peuvent être utilisées seules ou combinées.

NOTE 1 En cas de source de dommages S1, les mesures de protection ne sont efficaces qu'à l'intérieur de structures protégées par un SPF ou de structures à armature continue en métal ou en béton armé qui agit comme un SPF naturel.

NOTE 2 Pour les sources de dommages S1 et S3, le niveau de tenue de l'interface d'isolement peut être inapproprié dans certains cas.

7.5 Choix des mesures de protection

L'ensemble des mesures de protection énumérées en 7.2, 7.3 et 7.4 forment la protection globale contre la foudre.

Le choix des mesures de protection les plus appropriées doit être effectué par le concepteur des mesures, le propriétaire de la structure à protéger en tenant compte du type, du coût de chaque type de perte, des aspects techniques et économiques des différentes mesures de protection et des résultats de l'évaluation des risques.

Les critères d'évaluation du risque R et d'évaluation de la fréquence F ainsi que les critères de choix des mesures de protection les plus appropriées sont donnés dans l'IEC 62305-2.

Les mesures de protection sont efficaces si elles satisfont aux exigences des normes applicables et si elles sont aptes à résister aux contraintes prévues à l'endroit de leur installation.

8 Critère de base pour la protection des structures

8.1 Généralités

Une protection idéale des structures consisterait à enfermer la structure à protéger dans un écran parfaitement conducteur mis à la terre et d'épaisseur appropriée, et à réaliser, au point de pénétration dans l'écran, la liaison adéquate avec les lignes connectées à la structure.

Ceci empêcherait la pénétration du courant de foudre et du champ électromagnétique associé dans la structure à protéger afin d'éviter les effets thermiques et électrodynamiques néfastes du courant, ainsi que l'étincelage dangereux et les surtensions pour les réseaux internes.

En pratique, il n'est souvent ni possible ni rentable de recourir de telles mesures pour assurer une protection maximale.

La discontinuité de l'écran ou son épaisseur non appropriée, ou les deux, permettent la pénétration du courant de foudre, ce qui entraîne:

- des dommages physiques et un danger de mort;
- des défaillances des réseaux internes.

8.2 Niveaux de protection contre la foudre (NPF)

Les mesures de protection, adoptées pour réduire ces dommages et les pertes consécutives, doivent être conçues pour l'ensemble des paramètres du courant de foudre prévus contre lesquels une protection est exigée (niveau de protection contre la foudre).

Pour les besoins de la série IEC 62305, quatre niveaux de protection contre la foudre sont définis: I, II, III et IV. Pour chaque NPF, des paramètres maximaux et minimaux de courant de foudre sont définis.

Le NPF est généralement choisi à l'issue d'une évaluation des risques.

NOTE 1 La protection contre la foudre pour laquelle les paramètres maximaux et minimaux de courant de foudre dépassent ceux applicables au NPF I peuvent exiger des mesures plus efficaces qui sont sélectionnées et mises en œuvre individuellement, mais toujours dans le respect de ces normes.

NOTE 2 La probabilité d'apparition d'un coup de foudre dont les paramètres minimaux et maximaux de courant dépassent ceux du NPF I est inférieure à 2 %.

Pour le NPF I, il est prévu que les valeurs maximales des paramètres du courant de foudre soient dépassées avec une probabilité inférieure ou égale à 1 %. Il est prévu qu'au maximum 10 % des impacts positifs dépassent les valeurs maximales établies et qu'au maximum 1 % des impacts négatifs dépassent les valeurs maximales établies. En prenant pour hypothèse que les impacts positifs ne représentent pas plus de 10 % des impacts environ (voir Article A.2), la combinaison des impacts positifs et négatifs conduit à prévoir que 1 % des impacts au maximum dépasseront les valeurs maximales des paramètres indiquées dans le tableau (voir Article A.3). Les valeurs maximales des paramètres du courant de foudre applicables au NPF I sont réduites de 75 % pour le NPF II et de 50 % pour les NPF III et IV (suivant une régression linéaire à partir des valeurs du NPF I de I , Q et di/dt , mais quadratique pour W/R). Les paramètres temporels sont inchangés.

NOTE 3 Les NPF dont les paramètres maximaux de courant de foudre sont inférieurs à ceux du NPF IV permettent d'envisager des valeurs de probabilité de dommages supérieures à celles indiquées dans l'IEC 62305-2:2024, Annexe B, et sont utiles pour mieux ajuster les mesures de protection afin d'éviter des coûts injustifiés.

Les valeurs maximales des paramètres du courant de foudre pour les différents niveaux de protection contre la foudre sont données dans le Tableau 3 et sont utilisées pour la conception des composants de protection contre la foudre (par exemple section des conducteurs, épaisseur des feuilles de métal, tenue au courant des SPD, distance de séparation pour éviter l'étincelage dangereux) et pour définir les paramètres d'essai de simulation des effets de la foudre sur ces composants (voir Annexe D).

Tableau 3 – Valeurs maximales des paramètres de foudre qui correspondent aux niveaux de protection contre la foudre

Paramètres du courant		Symbole	Unité	NPF			
				I	II	III	IV
Premier coup de foudre positif de courte durée	Courant de crête	I	kA	200	150	100	
	Charge	Q_{SHORT}	C	100	75	50	
	Énergie spécifique	W/R	MJ/Ω	10	5,6	2,5	
	Paramètres de temps	T_1/T_2	μs/μs	10 / 350			
Premier coup de foudre négatif de courte durée ^a	Courant de crête	I	kA	100	75	50	
	Raideur moyenne	di/dt	kA/μs	100	75	50	
	Paramètres de temps	T_1/T_2	μs/μs	1 / 200			
Coup de foudre de courte durée subséquent	Courant de crête	I	kA	50	37,5	25	
	Raideur moyenne	di/dt	kA/μs	200	150	100	
	Paramètres de temps	T_1/T_2	μs/μs	0,25 / 100			
Coup de foudre de longue durée	Charge	Q_{LONG}	C	200	150	100	
	Paramètre de temps	T_{LONG}	s	0,5			
Impact	Charge	Q_{FLASH}	C	300	225	150	

^a Le premier coup de foudre négatif se rapporte uniquement aux calculs et non aux essais.

^a Le premier coup de foudre négatif se rapporte uniquement aux calculs et non aux essais.

NOTE 4 Pour des raisons pratiques, une valeur de probabilité a été attribuée à chaque NPF. En cas d'analyse plus détaillée, les valeurs issues du CIGRE données à l'Article A.2 peuvent être utilisées [6].

Les valeurs minimales du courant de foudre de crête pour les différents niveaux de protection sont utilisées pour en déduire le rayon de la sphère fictive (voir Article A.4) afin de définir la zone de protection contre la foudre ZPF 0_B qui est considérée comme protégée d'un coup de foudre direct (voir 8.3, Figure 2 et Figure 3). Les valeurs minimales des paramètres du courant de foudre associées au rayon de la sphère fictive sont données dans le Tableau 4. Elles sont utilisées pour le positionnement des dispositifs de capture et pour définir la zone de protection contre la foudre LPZ 0_B (voir 8.3).

Tableau 4 – Valeurs minimales des paramètres de foudre et rayon de sphère fictive associé qui correspondent aux niveaux de protection contre la foudre

Critère d'interception			NPF			
	Symbole	Unité	I	II	III	IV
Courant de crête minimal	I	kA	3	5	10	16
Rayon de la sphère fictive	r	m	20	30	45	60

À partir de la distribution statistique donnée à la Figure A.5, une probabilité moyenne que les paramètres du courant de foudre soient plus petits que les valeurs maximales et respectivement plus élevés que les valeurs minimales définies pour chaque niveau de protection (voir Tableau 5) peut être déterminée.

Tableau 5 – Probabilités des limites des paramètres du courant de foudre

Probabilité que les paramètres du courant de foudre soient	NPF			
	I	II	III	IV
– inférieurs aux valeurs maximales définies dans le Tableau 3	0,99	0,98	0,95	0,95
– supérieurs aux valeurs minimales définies dans le Tableau 4	0,99	0,97	0,91	0,84

Les mesures de protection spécifiées dans l'IEC 62305-3 et dans l'IEC 62305-4 sont efficaces si les paramètres du courant de foudre sont dans le domaine du niveau de protection défini par le concepteur. Par conséquent, l'efficacité d'une mesure de protection est par hypothèse égale à la probabilité que les paramètres du courant de foudre se situent dans ce domaine. Pour les paramètres hors de ce domaine, un risque résiduel de dommage subsiste.

NOTE 5 Les valeurs données dans le Tableau 5 reflètent une approche prudente. Des études spécifiques fondées sur les règles et paramètres du présent document en tenant compte des différents paramètres (par exemple les dimensions réelles de la structure, l'emplacement et la hauteur des dispositifs de capture, la répartition du courant) peuvent donner lieu à des valeurs d'efficacité supérieures.

8.3 Zones de protection contre la foudre (ZPF)

Les mesures de protection telles que SPF, blindage, écrans magnétiques et SPD déterminent les zones de protection contre la foudre (ZPF).

Les ZPF en aval d'une mesure de protection sont caractérisées par une réduction significative des impulsions électromagnétiques de foudre par rapport à la ZPF en amont.

En fonction de la menace de foudre, les ZPF suivantes sont définies (voir Figure 2 et Figure 3):

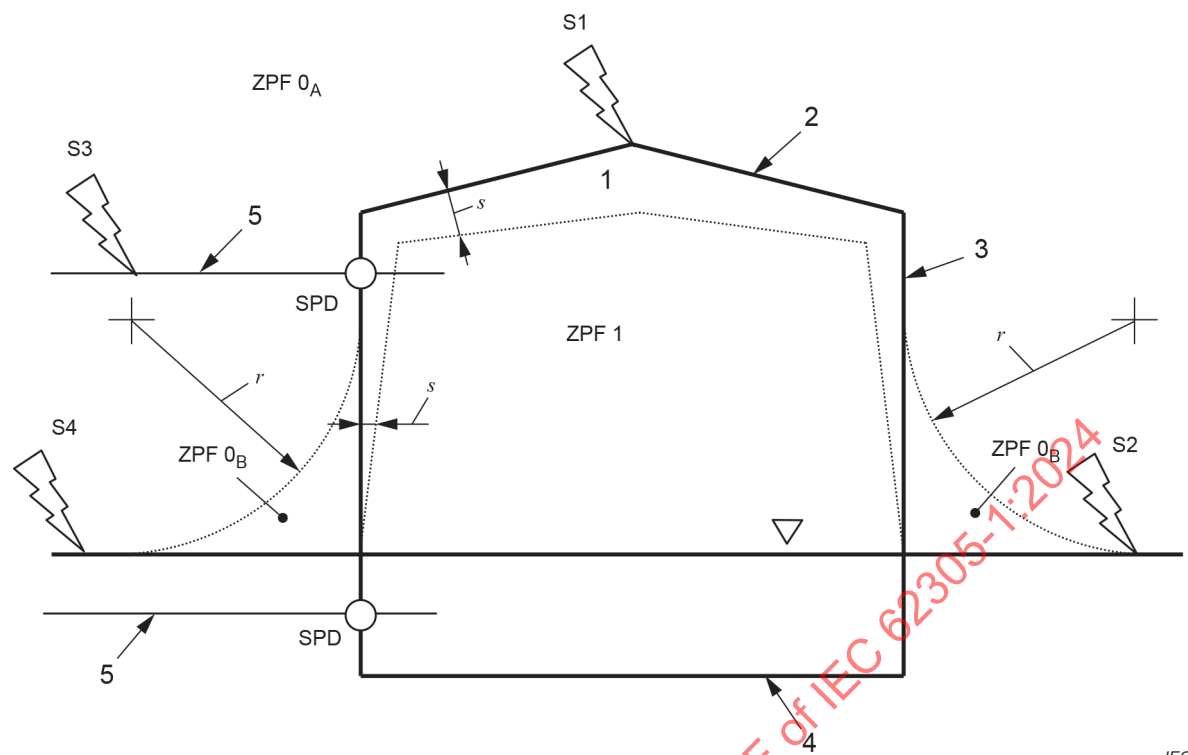
- ZPF 0_A zone exposée aux coups de foudre directs et au champ électromagnétique total de foudre. Les réseaux internes peuvent être soumis à des courants de foudre pleins ou partiels;
- ZPF 0_B zone protégée contre les coups de foudre directs, mais où le champ électromagnétique total de foudre constitue la menace. Les réseaux internes peuvent être soumis à des courants de foudre partiels;
- ZPF 1 zone où le courant de surcharge est limité par le partage du courant et par les interfaces d'isolement ou des SPD à la frontière ou les deux. L'écran spatial peut atténuer le champ électromagnétique de foudre;
- ZPF 2, ..., *n* zone où le courant de surcharge peut être encore davantage limité par le partage du courant, par les interfaces d'isolement ou des SPD supplémentaires à la frontière ou les deux. Un écran spatial additionnel peut être utilisé pour atténuer davantage le champ électromagnétique de foudre.

NOTE 1 En règle générale, plus la ZPF est de rang élevé, plus les paramètres d'environnement électromagnétique sont faibles.

La règle générale de protection est que la structure à protéger doit être contenue dans une ZPF dont les caractéristiques électromagnétiques sont compatibles avec la résistance de la structure aux contraintes, ce qui entraîne la réduction des dommages (dommages physiques, défaillances des réseaux de puissance et de communication dues à des surtensions).

NOTE 2 Pour la plupart des réseaux de puissance et de communication et des appareils, des informations sur le niveau de tenue sont fournies par le fabricant.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62305-1:2024



IEC

Légende

1	structure	S1	impact sur la structure
2	dispositif de capture	S2	impact à proximité de la structure
3	réseau de conducteurs de descente	S3	impact sur une ligne connectée à la structure
4	réseau de prises de terre	S4	impact à proximité d'une ligne connectée à la structure
5	lignes entrantes	r	rayon de la sphère fictive
		s	distance de séparation pour éviter l'étincelage dangereux (voir l'IEC 62305-3:2024, 6.3 et Annexe B)

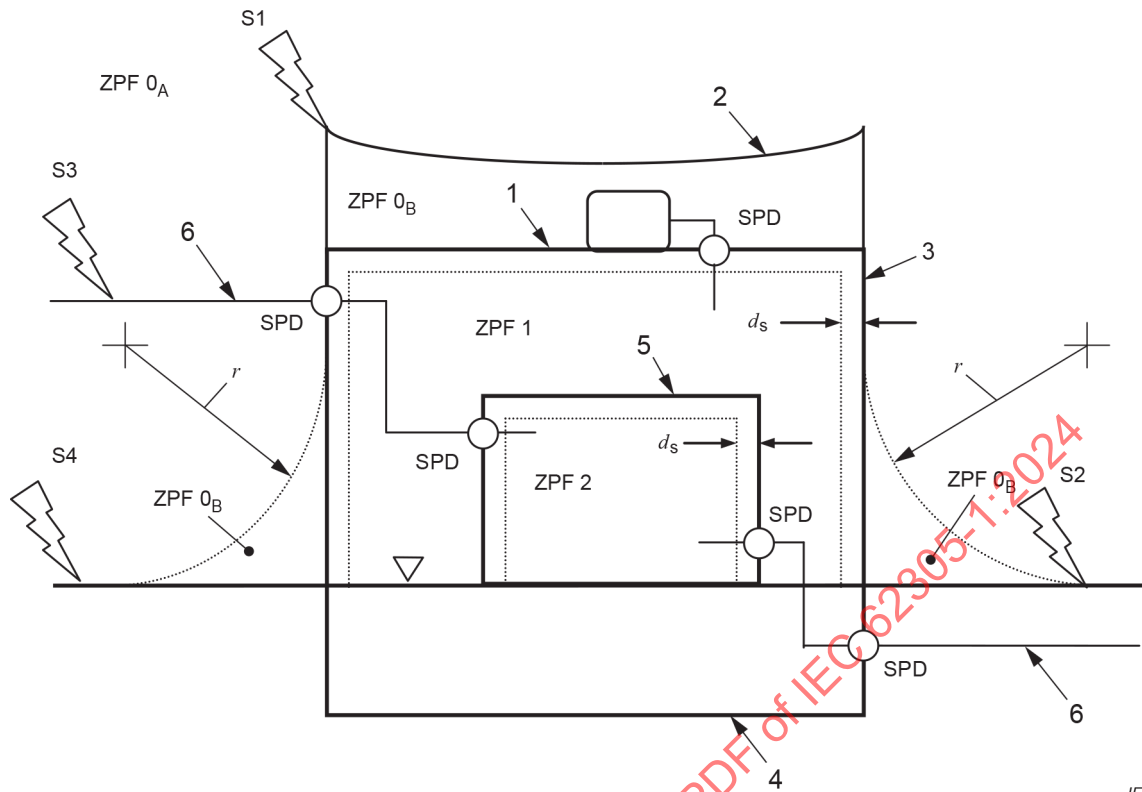
▽ niveau du sol

○ liaison équipotentielle de foudre au moyen de SPD

ZPF 0_A impact direct, courant de foudre totalZPF 0_B pas d'impact direct, courant de foudre partiel ou induit

ZPF 1 pas d'impact direct, courant de foudre limité ou induit

Le volume protégé dans la ZPF 1 doit respecter la distance de séparation s .**Figure 2 – Zones de protection contre la foudre (ZPF) définies par un SPD (IEC 62305-3)**



Légende

1	structure (écran de la ZPF 1)	S1	impact sur la structure
2	dispositif de capture	S2	impact à proximité de la structure
3	réseau de conducteurs de descente	S3	impact sur une ligne connectée à la structure
4	réseau de prises de terre	S4	impact à proximité d'une ligne connectée à la structure
5	pièce (écran de la ZPF 2)	r	rayon de la sphère fictive
6	lignes connectées à la structure	d_s	distance de sécurité contre un champ magnétique fort (voir l'IEC 62305-4:2024, Annexe A)



niveau du sol



liaison équipotentielle de foudre au moyen de SPD

ZPF 0_A impact direct, courant de foudre total, champ magnétique complet

ZPF 0_B pas d'impact direct, courant de foudre partiel ou induit, champ magnétique complet

ZPF 1 pas d'impact direct, courant de foudre limité ou induit, champ magnétique atténué

ZPF 2 pas d'impact direct, courants induits, champ magnétique davantage atténué

Les volumes protégés dans la ZPF 1 et la ZPF 2 doivent respecter les distances de sécurité d_s .

Figure 3 – Zones de protection contre la foudre (ZPF) définies par un SPF et une MPF (IEC 62305-4)

8.4 Protection des structures

8.4.1 Protection pour réduire les dommages physiques et le danger de mort

La structure à protéger doit être à l'intérieur d'une ZPF 0_B ou de niveau supérieur. Cela est réalisé par la mise en œuvre d'un système de protection contre la foudre (SPF).

Un SPF comprend à la fois une installation extérieure et une installation intérieure de protection contre la foudre.

Les fonctions du SPF extérieur sont

- d'intercepter un coup de foudre direct sur la structure (par un dispositif de capture);
- d'écouler de manière sûre le courant de foudre vers la terre (par un conducteur de descente); et
- de le disperser dans la terre (par un réseau de prises de terre).

NOTE Les recherches indiquent que le point d'impact d'un canal de foudre lors d'un coup subséquent peut se trouver à quelques mètres du point d'impact d'origine (du premier coup) dans certains cas (décharge avec plusieurs points d'impact, vent fort). Toutefois, la probabilité qu'une structure soit endommagée par un tel phénomène est faible lorsqu'un SPF conforme à l'IEC 62305-3 est mis en œuvre. Un courant de suite important circule immédiatement après le premier coup afin de préserver le canal de plasma. Ce phénomène peut être pris en compte par une étude spécifique qui inclut la direction du vent et les points d'impact possibles. Des dispositifs de capture supplémentaires, un SPF isolé ou l'augmentation de la longueur des dispositifs de capture constituent des solutions possibles.

La fonction du SPF intérieur est d'empêcher l'apparition de tout étincelage dangereux dans la structure en utilisant soit des liaisons équipotentielles soit des distances de séparation s (associées à l'isolation électrique) entre les composants du SPF et les autres éléments conducteurs électriques internes de la structure.

Quatre types de SPF sont définis (I, II, III et IV) pour les règles de construction, d'après les NPF correspondants. Chaque type comprend des règles de construction dépendantes (par exemple rayon de la sphère fictive, largeur de maille) et indépendantes (par exemple sections, matériaux).

Si la résistivité de surface du sol à l'extérieur et à l'intérieur de la structure est faible, le danger de mort dû aux tensions de contact et de pas est réduit:

- à l'extérieur de la structure, par isolation des éléments conducteurs exposés, par équipotentialité du sol au moyen d'un réseau de terre maillé, par des panneaux d'avertissement ou par des restrictions physiques;
- à l'intérieur de la structure, par liaison équipotentielle des lignes aux points de pénétration dans la structure.

Le SPF doit être conforme aux exigences de l'IEC 62305-3.

8.4.2 Protection pour réduire les défaillances des réseaux internes

La protection contre les IEMF pour réduire la fréquence de défaillances des réseaux internes doit limiter

- les chocs dus aux coups de foudre sur la structure qui résultent du couplage résistif et inductif;
- les chocs dus aux coups de foudre à proximité de la structure qui résultent du couplage inductif;
- les chocs transmis par les lignes connectées à la structure en raison des coups de foudre sur ou à proximité de ces lignes;
- les champs électromagnétiques à couplage direct avec les appareils.

NOTE Les défaillances des appareils dues aux effets du champ magnétique qui se couple directement avec le matériel sont rares, à condition que les appareils soient conformes aux ondes de radiofréquence émises et aux essais d'immunité définis par les normes CEM des produits (voir l'IEC 62305-2 et l'IEC 62305-4).

Le système à protéger doit être à l'intérieur de la ZPF 1 ou à un niveau supérieur. Cela est réalisé par des mesures de protection des réseaux de puissance et de communication (MPF) qui consistent en des écrans magnétiques qui atténuent les champs magnétiques induits ou en un cheminement approprié des câbles qui réduit les boucles d'induction, ou les deux. La liaison des parties métalliques et des réseaux qui traversent une ZPF doit être prévue aux frontières de la ZPF. Cette liaison peut être réalisée au moyen de conducteurs ou, si nécessaire, au moyen de parafoudres (SPD).

Les mesures de protection pour toute ZPF doivent être conformes à l'IEC 62305-4.

Une protection efficace contre les surtensions qui entraînent des défaillances des réseaux internes peut aussi être réalisée par des interfaces d'isolement ou un système de protection par parafoudres coordonnés, ce qui limite les surtensions au-dessous de la tension de choc assignée du réseau à protéger, ou les deux.

Les interfaces d'isolement et les SPD doivent être choisis et mis en œuvre conformément aux exigences de l'IEC 62305-4.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62305-1:2024

Annexe A (informative)

Paramètres du courant de foudre

A.1 Coups de foudre à la terre

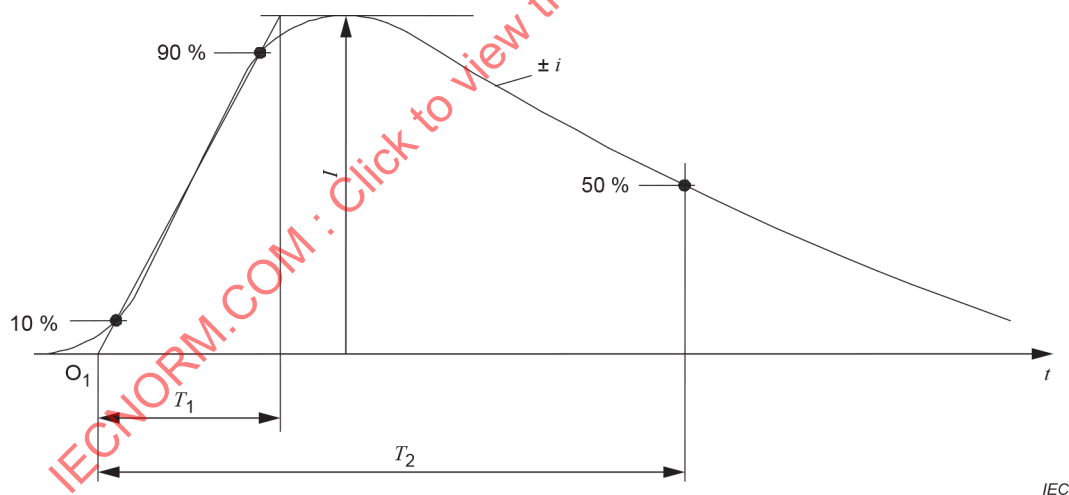
Deux types essentiels d'éclairs existent:

- les éclairs descendants initiés par des précurseurs descendants depuis le nuage vers la terre; et
- les éclairs ascendants initiés par un précurseur ascendant d'une structure mise à la terre vers le nuage.

Les éclairs descendants apparaissent essentiellement dans des environnements plats et pour des structures peu élevées, tandis que pour des environnements exposés ou pour des structures élevées, ou les deux, les éclairs ascendants deviennent dominants. La probabilité d'impact direct sur la structure augmente avec la hauteur réelle de celle-ci (voir l'IEC 62305-2:2024, Annexe A) et les conditions physiques sont modifiées.

Un impact de foudre peut comprendre un ou plusieurs coups différents:

- coups de foudre de courte durée d'une durée inférieure à 2 ms (Figure A.1);
- coups de foudre de longue durée d'une durée supérieure à 2 ms (Figure A.2).



Légende

O_1 origine virtuelle du courant de choc (point d'intersection avec l'axe du temps d'une droite tracée entre les points de référence 10 % et 90 % sur le temps de montée; elle précède de $0,1 T_1$ l'instant auquel le courant atteint 10 % de sa valeur de crête)

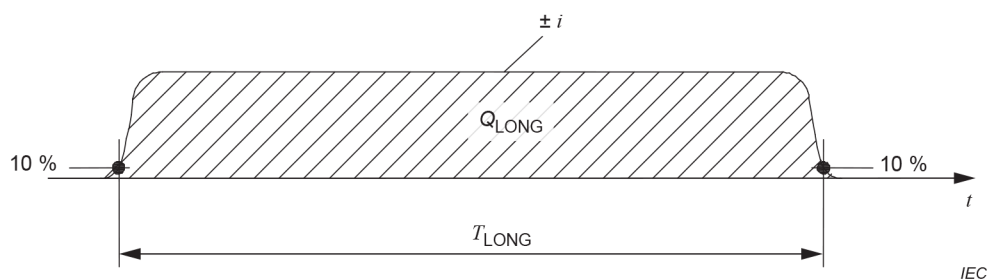
I courant de crête

i valeur instantanée

T_1 temps de montée du courant de choc

T_2 temps jusqu'à mi-valeur sur la queue du courant de choc (généralement $T_2 < 2$ ms)

Figure A.1 – Définition des paramètres de courant de choc selon l'IEC 62475 [7]



Légende

T_{LONG} durée d'un courant de choc de longue durée (généralement $2 \text{ ms} < T_{LONG} < 1 \text{ s}$)

Q_{LONG} charge du coup de foudre de longue durée

Figure A.2 – Définitions des paramètres d'un coup de foudre de longue durée

Une différence complémentaire des coups vient de leur polarité (positive ou négative) et de leur position lors de l'impact (premier, subséquent, superposé). Une représentation schématique des composantes possibles du courant de foudre est indiquée à la Figure A.3 pour les éclairs descendants et les éclairs descendants à décharges multiples et à la Figure A.4 pour les éclairs ascendants.

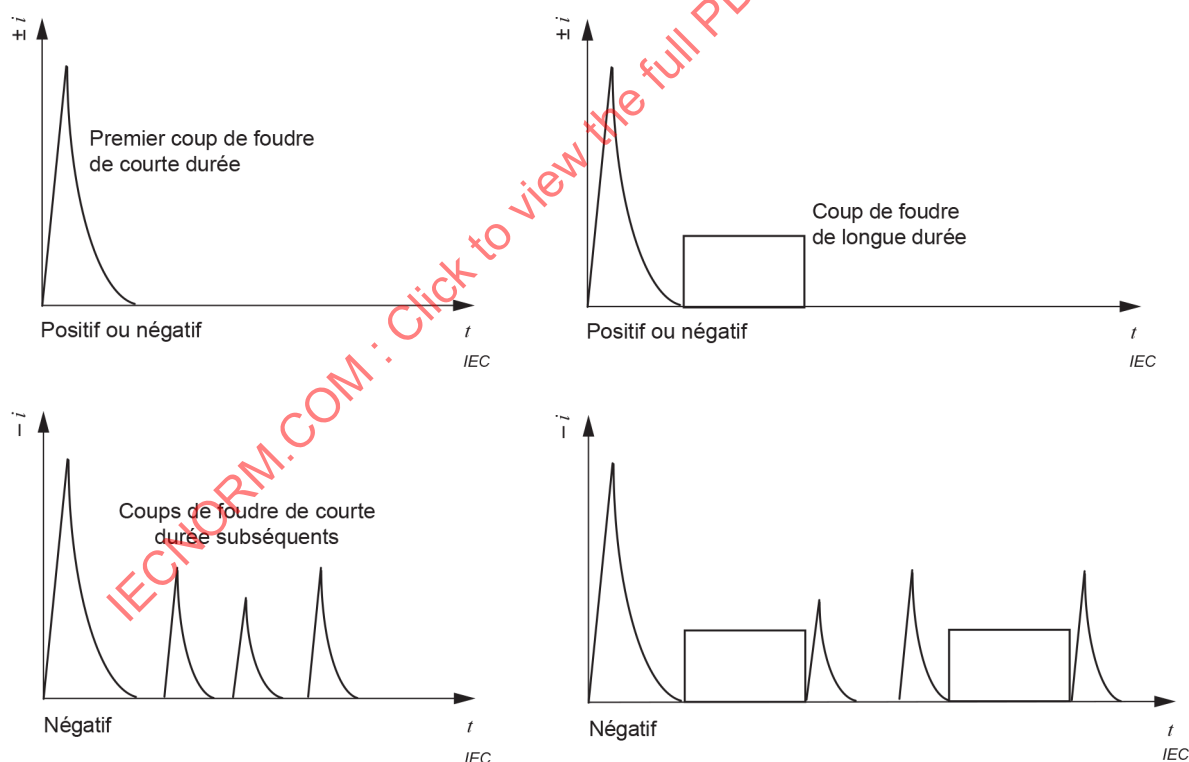


Figure A.3 – Représentation schématique (non à l'échelle) des composantes possibles d'éclairs descendants (habituels en plaine et sur des structures peu élevées) et d'éclairs descendants à décharges multiples

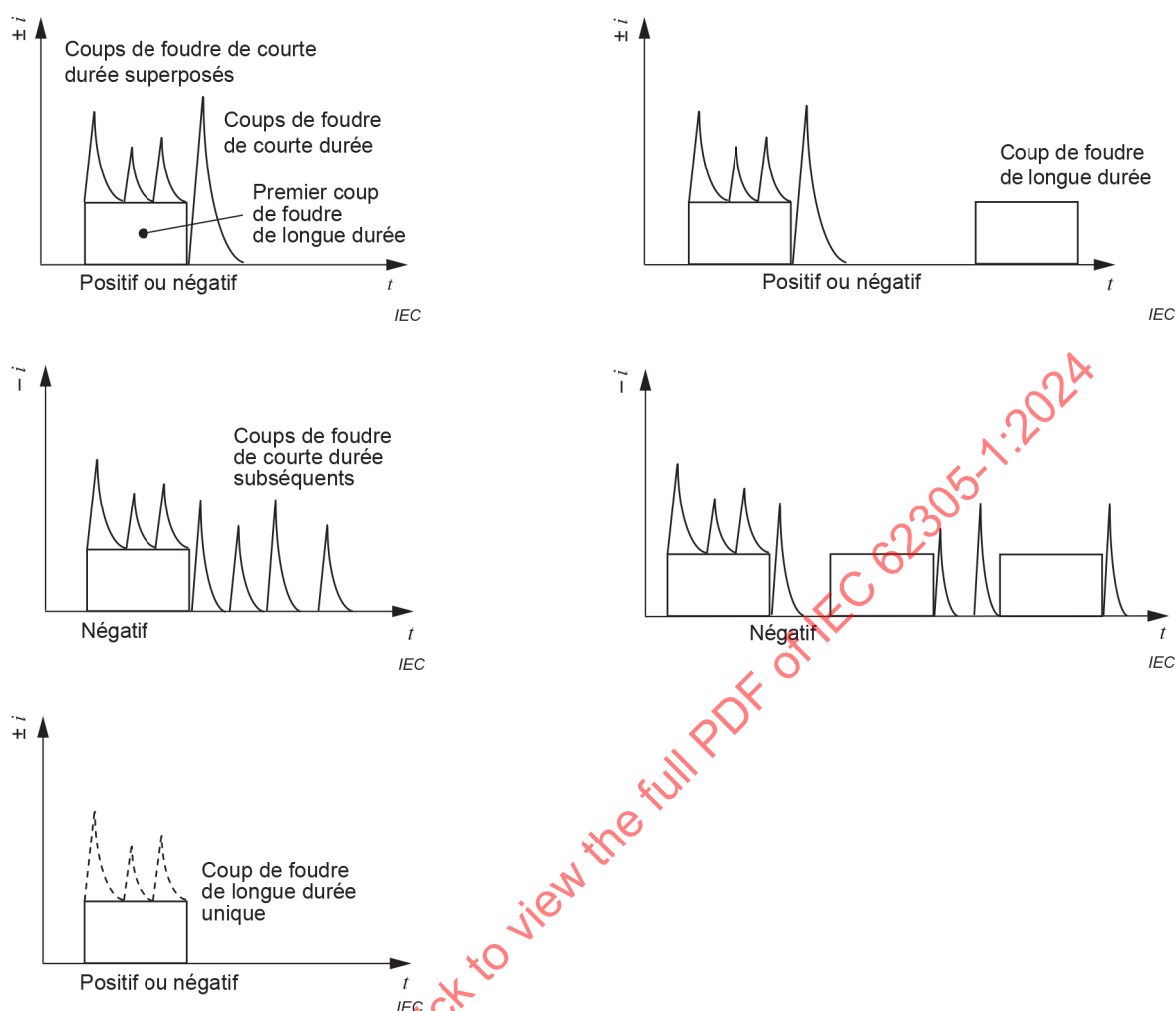


Figure A.4 – Représentation schématique (non à l'échelle) des composantes possibles d'éclairs ascendants (habituels sur des structures exposées ou élevées ou les deux)

La composante supplémentaire dans un éclair ascendant est le premier coup de foudre de longue durée avec ou non jusqu'à une dizaine de chocs superposés. Cependant, tous les paramètres de courant de choc des éclairs ascendants sont inférieurs à ceux des éclairs descendants. Une charge de coup de foudre de longue durée des éclairs ascendants plus importante n'est pas confirmée à ce jour. Ainsi, les paramètres du courant de foudre des éclairs ascendants sont considérés comme couverts par les valeurs maximales des éclairs descendants.

NOTE L'IEC 61400-24 [4] contient des informations concernant une charge de coup de foudre de plus longue durée des éclairs ascendants, en particulier dans les zones où l'activité orageuse hivernale est importante. Elle contient une méthode d'estimation du nombre annuel moyen d'éclairs ou de coups sur les éoliennes et de l'activité électrique ascendante dans les éoliennes.

A.2 Paramètres du courant de foudre

Les paramètres du courant de foudre dans le présent document se fondent sur les résultats du Conseil International des Grands Réseaux Électriques (CIGRE) donnés dans le Tableau A.1. Leur distribution statistique peut être considérée comme une distribution logarithmique normale. La valeur moyenne correspondante μ et la dispersion $\sigma_{\log}$ sont données dans le Tableau A.2 et la fonction de distribution est indiquée à la Figure A.5. Sur cette base, la probabilité d'apparition de toute valeur de chacun des paramètres peut être déterminée.

NOTE 1 Des informations supplémentaires concernant les paramètres du courant de foudre sont données dans le document de contribution à l'ICLP de 2008 rédigé par Heidler et al [8].

Un rapport de polarité de 10 % d'impacts positifs et de 90 % d'impacts négatifs est admis par hypothèse. Le rapport de polarité réel est fonction de l'environnement. En cas d'absence d'informations locales, il convient d'utiliser le rapport donné.

La probabilité d'occurrence de valeurs de crête du courant de foudre du premier coup de foudre négatif de courte durée et du premier coup de foudre positif de courte durée qui dépassent la valeur précédemment étudiée est indiquée dans le Tableau A.3.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62305-1:2024

Tableau A.1 – Valeurs des paramètres du courant de foudre (CIGRE [9], [10], [11])

Paramètre	Valeur fixée pour le NPF I	Valeurs			Type de coup	Ligne de la Figure A.5
		95 %	50 %	5 %		
I (kA)		4 ^a	20 ^a	90	Premier court négatif ^b	1A + 1B
	50	4,9	11,8	28,6	Court négatif subséquent ^b	2
	200	4,6	35	250	Premier court positif (simple)	3
Q_{FLASH} (C)		1,3	7,5	40	Impact négatif	4
	300	20	80	350	Impact positif	5
$Q_{SHORT STROKE}$ (C)		1,1	4,5	20	Premier court négatif	6
		0,22	0,95	4	Court négatif subséquent	7
	100	2	16	150	Premier court positif (simple)	8
W/R (kJ/Ω)		6	55	550	Premier court négatif	9
		0,55	6	52	Court négatif subséquent	10
	10 000	25	650	15 000	Premier court positif	11
di/dt_{max} (kA/μs)		9,1	24,3	65	Premier court négatif ^b	12
		9,9	39,9	161,5	Court négatif subséquent ^b	13
	20	0,2	2,4	32	Premier court positif	14
$di/dt_{30\%/90\%}$ (kA/μs)	200	4,1	20,1	98,5	Court négatif subséquent ^b	15
$Q_{LONG STROKE}$ (C)	200				Long	
$T_{LONG STROKE}$ (s)	0,5				Long	
Durée de la montée (μs)		1,8	5,5	18	Premier court négatif	
		0,22	1,1	4,5	Court négatif subséquent	
		3,5	22	200	Premier court positif (simple)	
Durée du choc (μs)		30	75	200	Premier court négatif	
		6,5	32	140	Court négatif subséquent	
		25	230	2 000	Premier court positif (simple)	
Intervalle de temps entre les coups (ms)		7	33	150	Coups négatifs multiples	
Durée totale de l'éclair (ms)		0,15	13	1 100	Impact négatif (tous)	
		31	180	900	Impact négatif (sans simple)	
		14	85	500	Impact positif	

NOTE Les valeurs de $Q_{LONG STROKE}$ et T_{LONG} concernent uniquement les coups descendants. $Q_{LONG STROKE} = Q_{FLASH} - Q_{SHORT STROKE}$; aucune valeur statistique n'est donc indiquée dans le présent Tableau A.1.

^a Les valeurs de $I = 4$ kA et $I = 20$ kA correspondent respectivement à une probabilité de 98 % et 80 %.

^b Les paramètres et les valeurs pertinentes sont rapportés dans [10].

Tableau A.2 – Distribution logarithmique normale des paramètres de courant de foudre – Moyenne μ et dispersion $\sigma_{\log}$ calculées à partir des valeurs pour 5 % et 95 % (CIGRE [9], [10], [11])

Paramètre	Moyenne μ	Dispersion ^a $\sigma_{\log}$	Type de choc	Ligne de la Figure A.5
I (kA)	(61,1)	0,576	Premier court négatif (80 %) ^b	1A
	33,3	0,263	Premier court négatif (80 %) ^b	1B
	11,8	0,233	Court négatif subséquent ^b	2
	33,9	0,527	Premier court positif (simple)	3
Q_{FLASH} (C)	7,21	0,452	Impact négatif	4
	83,7	0,378	Impact positif	5
$Q_{\text{SHORT STROKE}}$ (C)	4,69	0,383	Premier court négatif	6
	0,938	0,383	Court négatif subséquent	7
	17,3	0,570	Premier court positif (simple)	8
W/R (kJ/ Ω)	57,4	0,596	Premier court négatif	9
	5,35	0,600	Court négatif subséquent	10
	612	0,844	Premier court positif	11
di/dt_{max} (kA/ μ s)	24,3	0,260	Premier court négatif ^b	12
	40,0	0,369	Court négatif subséquent ^b	13
	2,53	0,670	Premier court positif	14
$di/dt_{30\%/90\%}$ (kA/ μ s)	20,1	0,420	Court négatif subséquent ^b	15
$Q_{\text{LONG STROKE}}$ (C) ^c			Long	
$T_{\text{LONG STROKE}}$ (s) ^c			Long	
Durée de la montée (μ s)	5,69	0,304	Premier court négatif	
	0,995	0,398	Court négatif subséquent	
	26,5	0,534	Premier court positif (simple)	
Durée du choc (μ s)	77,5	0,250	Premier court négatif	
	30,2	0,405	Court négatif subséquent	
	224	0,578	Premier court positif (simple)	
Intervalle de temps entre les coups (ms)	32,4	0,405	Coups négatifs multiples	
Durée totale de l'éclair (ms)	12,8	1,175	Impact négatif (tous)	
	167	0,445	Impact négatif (sans simple)	
	83,7	0,472	Impact positif	

^a $\sigma_{\log}$ est la valeur qui indique la dispersion autour de la valeur moyenne logarithmique de la distribution log-normale du paramètre. Intégrale $(-\sigma_{\log}, +\sigma_{\log})$ [distribution log-normale] = 68,2 %.

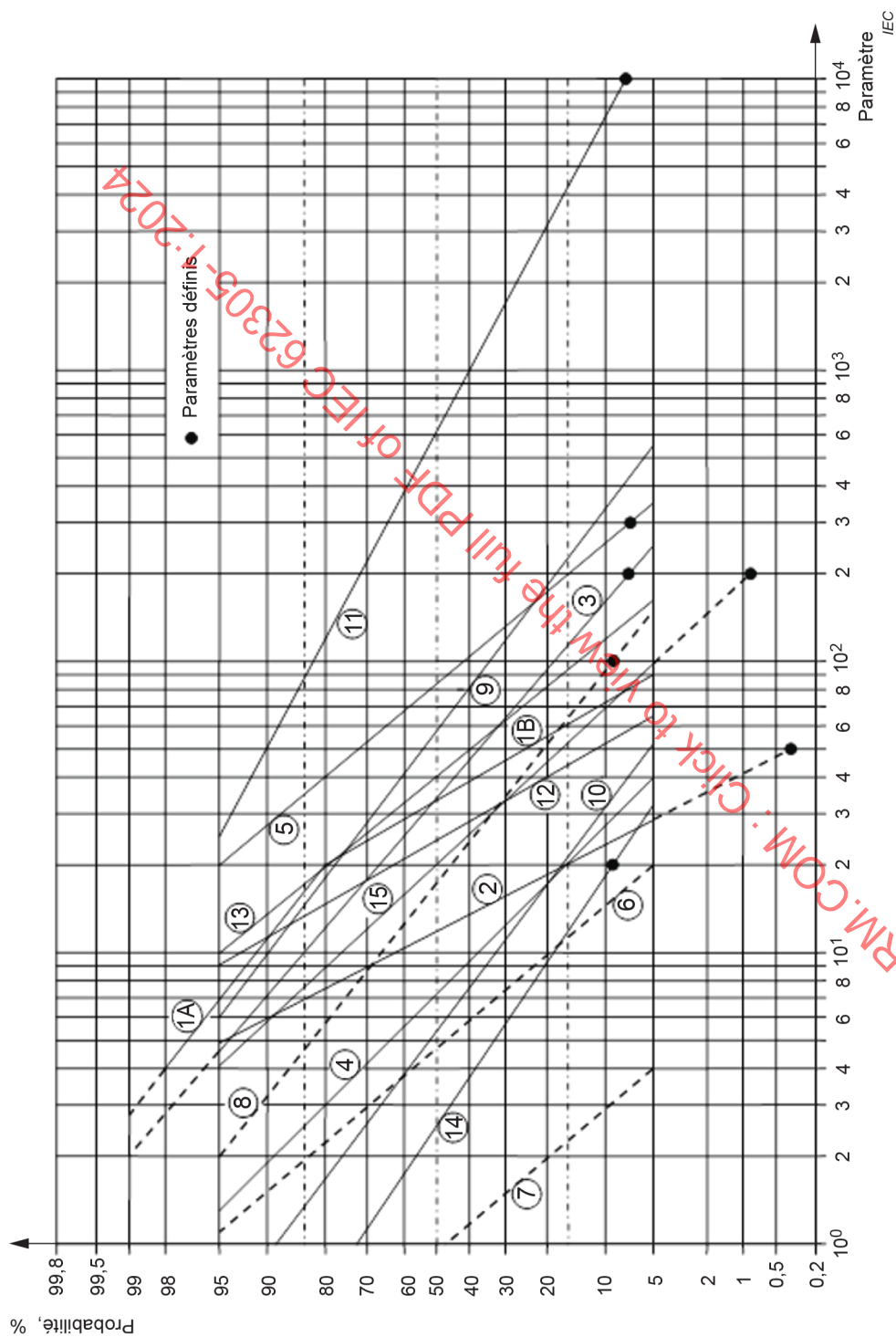
^b Les paramètres et les valeurs pertinentes sont rapportés dans [10].

^c Pour la valeur, se référer à [12].

Tableau A.3 – Valeurs de probabilité P comme fonction de la valeur de crête du courant de foudre I

I kA	P
0	1
3	0,99
5	0,95
10	0,91
20	0,8
30	0,6
35	0,5
40	0,4
50	0,3
60	0,2
80	0,1
100	0,05
150	0,02
200	0,01

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62305-1:2024



NOTE Pour la numérotation des courbes, voir le Tableau A.1 et le Tableau A.2.

Figure A.5 – Fréquence de distribution cumulative des paramètres du courant de foudre (ligne discontinue à 50 %)

Toutes les valeurs, fixées pour les niveaux de protection, données dans le présent document se rapportent tant aux éclairs ascendants que descendants.

NOTE 2 Les valeurs des paramètres de foudre sont généralement obtenues par des mesurages effectués sur des structures de grande hauteur. La distribution statistique des valeurs de crête du courant de foudre estimées sans tenir compte de l'effet des structures de grande hauteur est également disponible à partir de systèmes de localisation de la foudre.

A.3 Détermination des valeurs maximales du courant de foudre pour le NPF I

A.3.1 Généralités

Les effets mécaniques de la foudre sont liés à la valeur de crête du courant (I) et à l'énergie spécifique (W/R). Les effets thermiques sont liés à l'énergie spécifique (W/R) lorsqu'un couplage résistif a lieu et à la charge (Q) si des arcs se produisent dans l'installation. Des surtensions et un étincelage dangereux dus à un couplage inductif sont liés à la raideur moyenne (di/dt) du courant de montée.

Chacun de ces paramètres (I , Q , W/R , di/dt) a tendance à être prééminent lors de chaque mécanisme de défaillance. Cela doit être pris en compte lors de l'élaboration des procédures d'essais.

A.3.2 Premier coup de foudre positif et coup de foudre de longue durée

Les valeurs I , Q (charge d'éclair et charge du coup de foudre de courte durée) et W/R liées aux effets mécaniques et thermiques sont déterminées à partir d'impacts positifs (car leurs valeurs de 10 % sont beaucoup plus élevées que les valeurs de 1 % correspondantes des impacts négatifs). À partir de la Figure A.5 (lignes 3, 5, 8, 11 et 14), les valeurs suivantes peuvent être prises avec des probabilités inférieures à 10 % :

I	= 200 kA
Q_{FLASH}	= 300 C
Q_{SHORT}	= 100 C
W/R	= 10 MJ/Ω
di/dt	= 20 kA/μs

Pour un premier coup positif conforme à la Figure A.1, les valeurs suivantes donnent une première approximation du temps de montée :

$$T_1 = I / (di/dt) = 10 \mu\text{s} \text{ (} T_1 \text{ est négligeable)}$$

Pour un coup avec retard exponentiel, les formules suivantes s'appliquent pour calculer une valeur approchée de charge et d'énergie ($T_1 \ll T_2$) :

$$Q_{\text{SHORT}} = (1 / 0,7) \times I \times T_2$$

$$W/R = (1/2) \times (1 / 0,7) \times I^2 \times T_2$$

Ces formules associées aux valeurs ci-dessus conduisent à une première approximation du temps jusqu'à mi-valeur :

$$T_2 = 350 \mu\text{s}$$

Pour un coup de foudre de longue durée, sa charge approchée peut être calculée par:

$$Q_{\text{LONG}} = Q_{\text{FLASH}} - Q_{\text{SHORT}} = 200 \text{ C}$$

Sa durée, conformément à la Figure A.2, peut être estimée à partir des données du Tableau A.1 comme étant:

$$T_{\text{LONG}} = 0,5 \text{ s}$$

A.3.3 Premier coup négatif

Pour certains effets de couplage inductif, l'impact du premier coup négatif entraîne des tensions induites maximales dues à l'amplitude élevée et à la longue durée du courant, par exemple pour les câbles à l'intérieur des conduites de câble en béton armé. À partir de la Figure A.5 (lignes 1 et 12), les valeurs suivantes peuvent être prises avec des probabilités inférieures à 1 %:

$$I = 100 \text{ kA}$$

$$di/dt = 100 \text{ kA}/\mu\text{s}$$

Pour un premier coup négatif conforme à la Figure A.1, ces valeurs donnent un temps de montée approximatif de:

$$T_1 = I / (di/dt) = 1,0 \mu\text{s}$$

Le temps jusqu'à mi-valeur peut être estimé à partir des durées des premiers coups négatifs:

$$T_2 = 200 \mu\text{s} \quad (T_2 \text{ est négligeable}).$$

A.3.4 Coup subséquent

La valeur maximale de la raideur moyenne du courant de montée di/dt liée à un étincelage dangereux dû à un couplage inductif est déterminée à partir de coups subséquents d'impacts négatifs (car leurs valeurs de 1 % sont légèrement supérieures aux valeurs de 1 % des premiers coups négatifs ou aux valeurs de 10 % correspondantes des impacts positifs). À partir de la Figure A.5 (lignes 2 et 15), les valeurs suivantes peuvent être prises avec des probabilités inférieures à 1 %:

$$I = 50 \text{ kA}$$

$$di/dt = 200 \text{ kA}/\mu\text{s}$$

Pour un coup subséquent conforme à la Figure A.1, ces valeurs donnent un temps de montée approximatif de:

$$T_1 = I / (di/dt) = 0,25 \mu\text{s}$$

Le temps jusqu'à mi-valeur peut être estimé à partir des durées des coups négatifs subséquents:

$$T_2 = 100 \mu\text{s} \text{ (} T_2 \text{ est négligeable).}$$

A.4 Détermination des valeurs minimales du courant de foudre

L'efficacité d'interception d'un dispositif de capture dépend des valeurs minimales des paramètres du courant de foudre et du rayon correspondant de la sphère fictive. Les frontières géométriques des zones protégées contre les coups de foudre directs peuvent être déterminées par la méthode de la sphère fictive.

Selon le modèle électrogéométrique, le rayon de la sphère fictive r est lié à la valeur de crête du courant du premier coup. Dans le rapport d'un groupe de travail de l'IEEE [13], la relation donnée est:

$$r = 10 \times I^{0,65} \quad (\text{A.1})$$

où

r est le rayon de la sphère fictive (m);

I est le courant de crête (kA).

Pour une sphère fictive de rayon r , l'hypothèse retenue peut être que tous les coups de foudre dont la valeur de crête est supérieure à la valeur de crête minimale correspondante de I sont interceptés par des dispositifs de capture naturels ou dédiés. Par conséquent, la probabilité de valeurs de crête de coups positifs et négatifs des premiers coups donnés à la Figure A.5 (lignes 1A et 3) correspond par hypothèse à une probabilité d'interception. En tenant compte du rapport de polarité de 10 % d'impacts positifs et de 90 % d'impacts négatifs, la probabilité globale d'interception peut être calculée (voir Tableau 5).

Annexe B (informative)

Fonctions temporelles du courant de foudre à des fins d'analyse

Les formes d'onde du courant

- du premier choc positif 10/350 µs,
- du premier choc négatif 1/200 µs,
- des chocs négatifs subséquents 0,25/100 µs,

peuvent être définies par:

$$i = \frac{I}{k} \times \frac{(t / \tau_1)^{10}}{1 + (t / \tau_1)^{10}} \times \exp(-t / \tau_2) \quad (\text{B.1})$$

où

I est le courant de crête;

k est le facteur de correction du courant de crête;

t est le temps;

τ_1 est la constante du temps de montée;

τ_2 est la constante de durée sur la queue.

Pour les formes de courant du premier coup positif, du premier coup négatif et des coups négatifs subséquents pour différents NPF, les paramètres donnés dans le Tableau B.1 s'appliquent. Les courbes d'analyse en fonction du temps sont données de la Figure B.1 à la Figure B.6.

NOTE 1 Les valeurs di/dt maximales des fonctions temporelles sont supérieures aux valeurs normalisées spécifiées à l'Article A.3 (voir Figure B.1, Figure B.3 et Figure B.5).

Tableau B.1 – Paramètres pour l'Équation (B.1)

Paramètres	Premier coup positif			Premier coup négatif			Coup négatif subséquent		
	NPF			NPF			NPF		
	I	II	III à IV	I	II	III à IV	I	II	III à IV
I (kA)	200	150	100	100	75	50	50	37,5	25
k	0,93	0,93	0,93	0,986	0,986	0,986	0,993	0,993	0,993
τ_1 (µs)	19	19	19	1,82	1,82	1,82	0,454	0,454	0,454
τ_2 (µs)	485	485	485	285	285	285	143	143	143

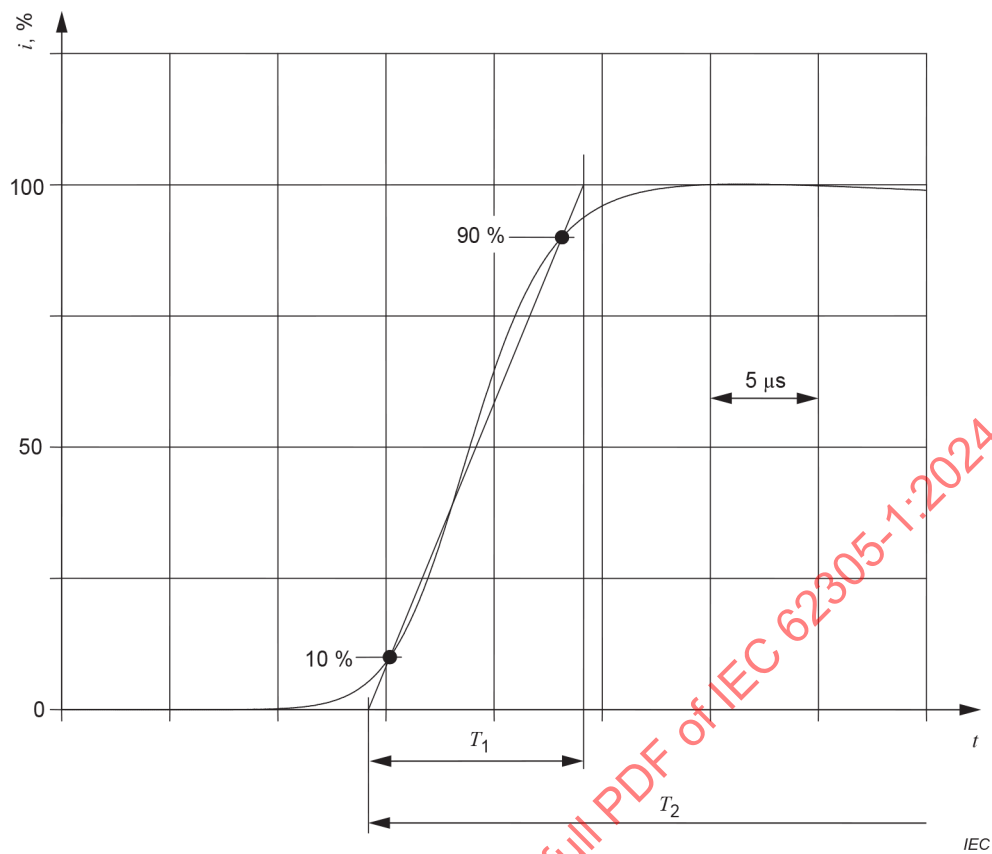


Figure B.1 – Forme de la montée du courant du premier coup positif

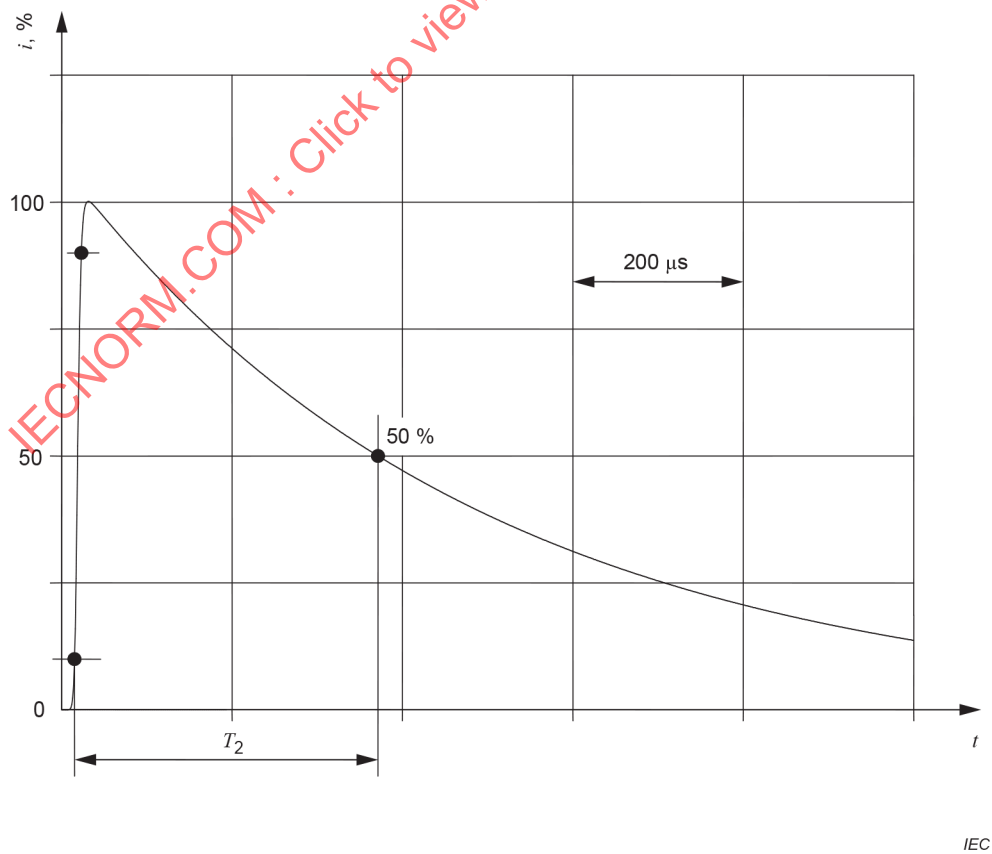


Figure B.2 – Forme du courant sur la queue du premier coup positif

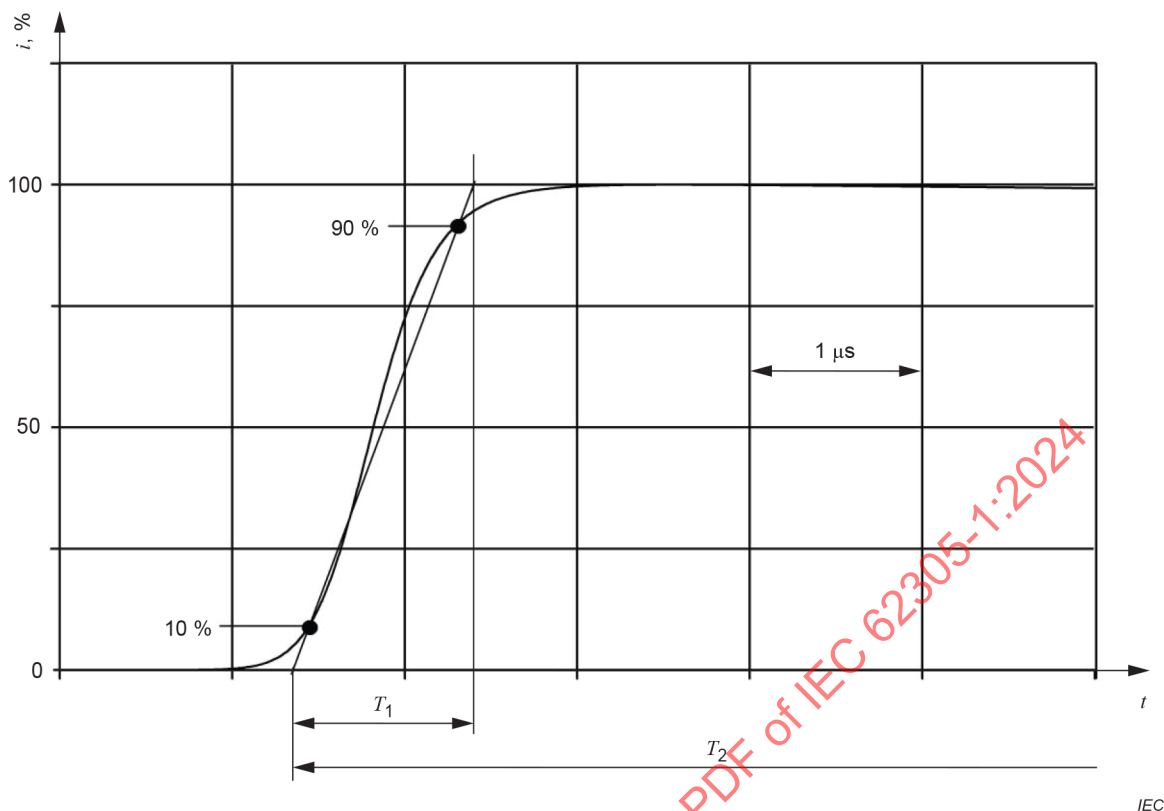


Figure B.3 – Forme de la montée du courant du premier coup négatif

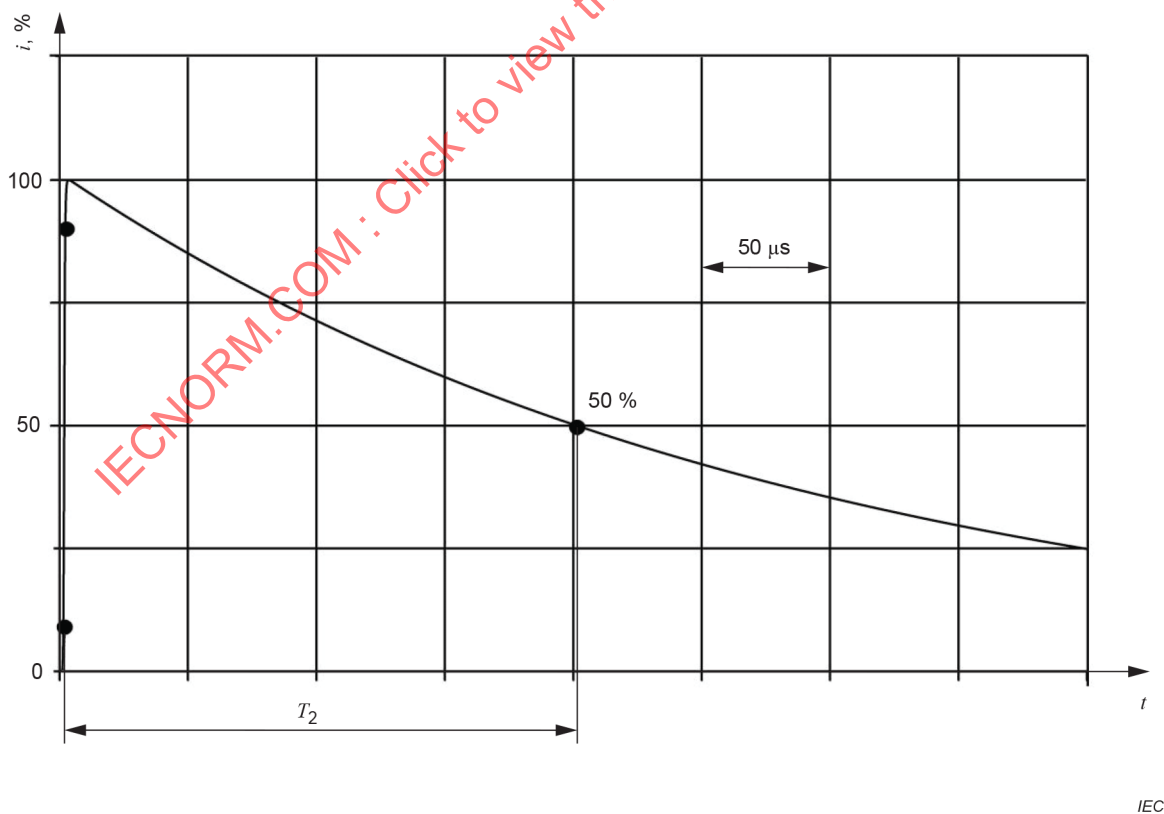
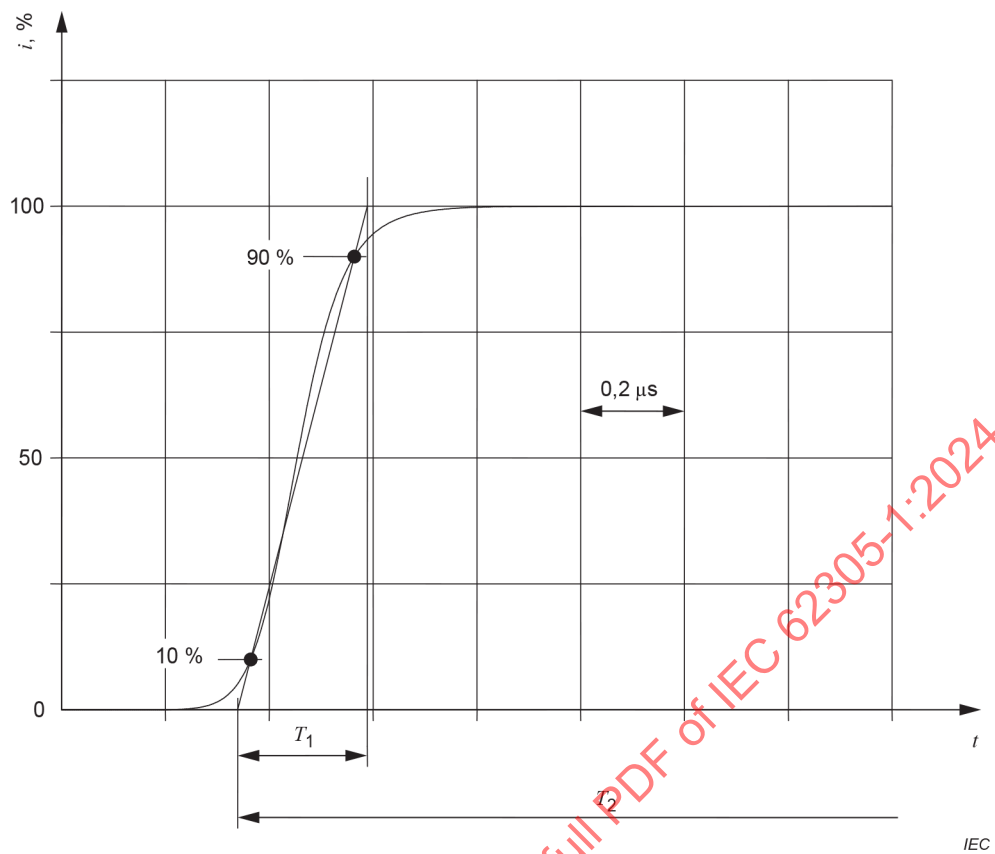
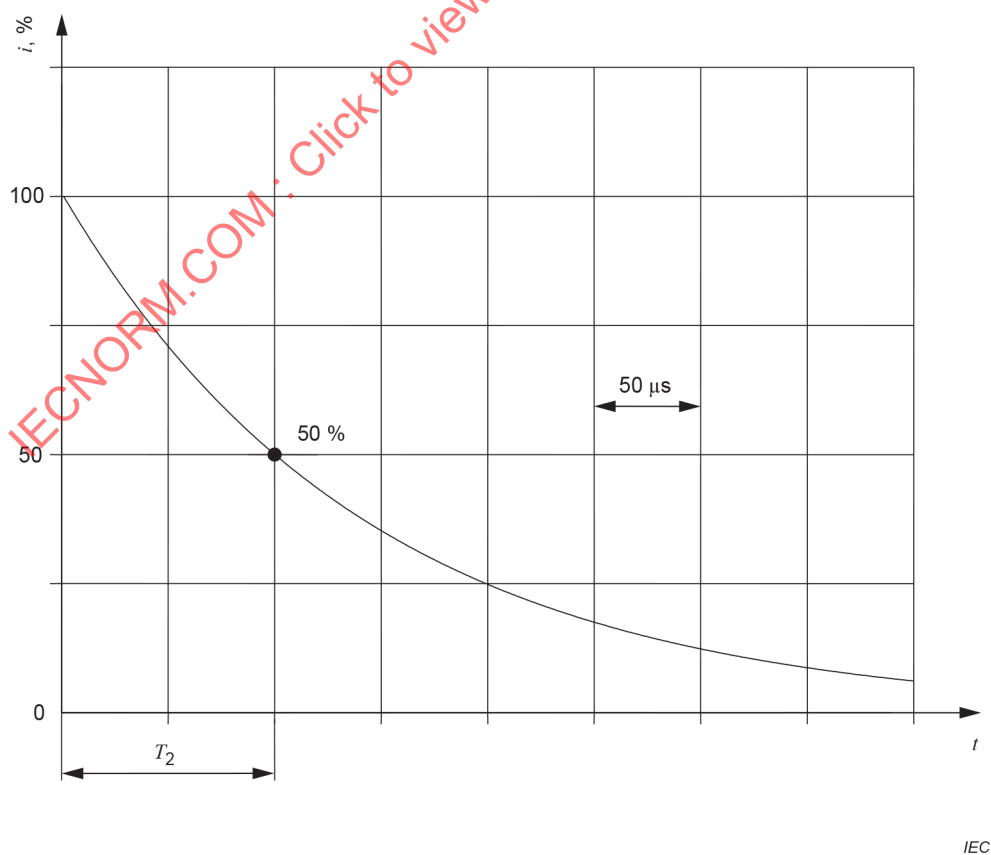


Figure B.4 – Forme du courant sur la queue du premier coup négatif

**Figure B.5 – Forme de la montée du courant des coups négatifs subséquents****Figure B.6 – Forme du courant sur la queue des coups négatifs subséquents**

Un coup de foudre de longue durée peut être défini par une forme d'onde rectangulaire avec un courant moyen de I et une durée T_{LONG} selon le Tableau 3.

À partir des courbes d'analyse en fonction du temps, les valeurs de densité du courant de foudre (Figure B.7) peuvent être obtenues.

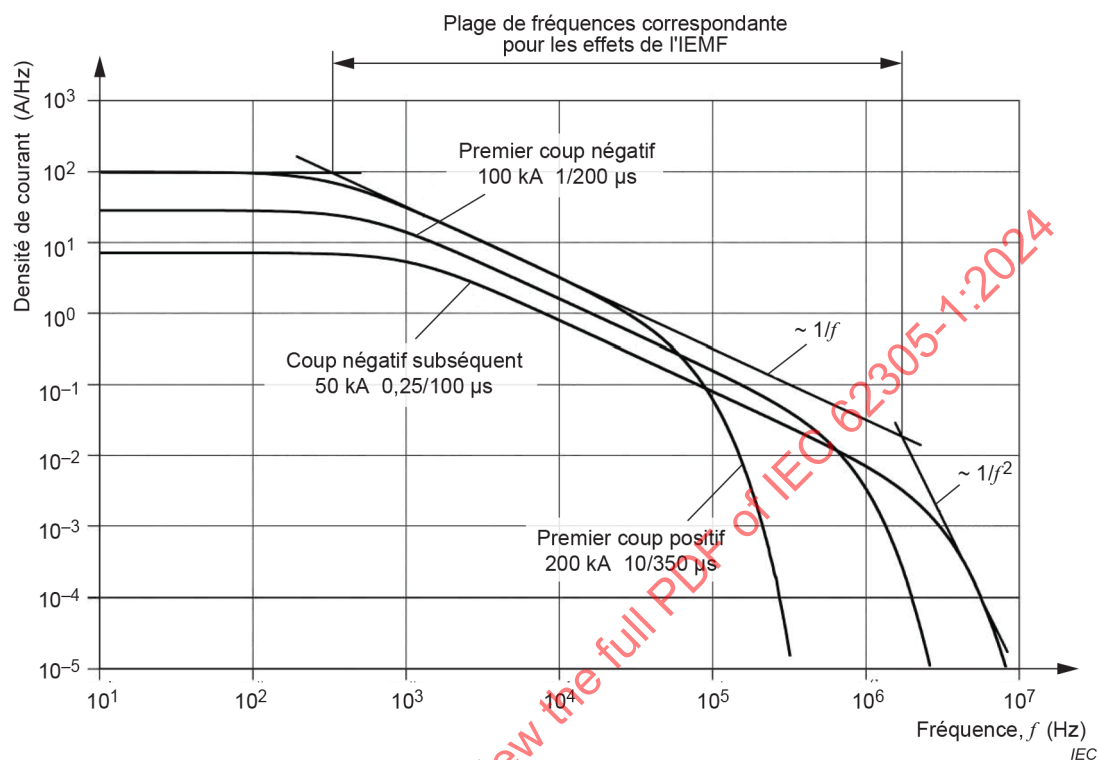


Figure B.7 – Densité du courant de foudre pour le NPF I

Annexe C (informative)

Simulation du courant de foudre aux fins d'essais

C.1 Généralités

Si une structure est frappée par la foudre, le courant de foudre se répartit dans la structure. Lors des essais sur les éléments constitutifs des mesures de protection, cela doit être pris en compte en choisissant les paramètres d'essai adaptés pour chaque élément. À cette fin, une analyse du système doit être effectuée.

C.2 Simulation de l'énergie spécifique du premier coup de foudre positif et de la charge du coup de foudre de longue durée

Des paramètres d'essai sont définis dans le Tableau C.1 et le Tableau C.2 et un exemple de générateur d'essai est représenté à la Figure C.1. Ce générateur peut être utilisé pour la simulation de l'énergie spécifique du premier coup de foudre positif associé à la charge d'un coup de foudre de longue durée.

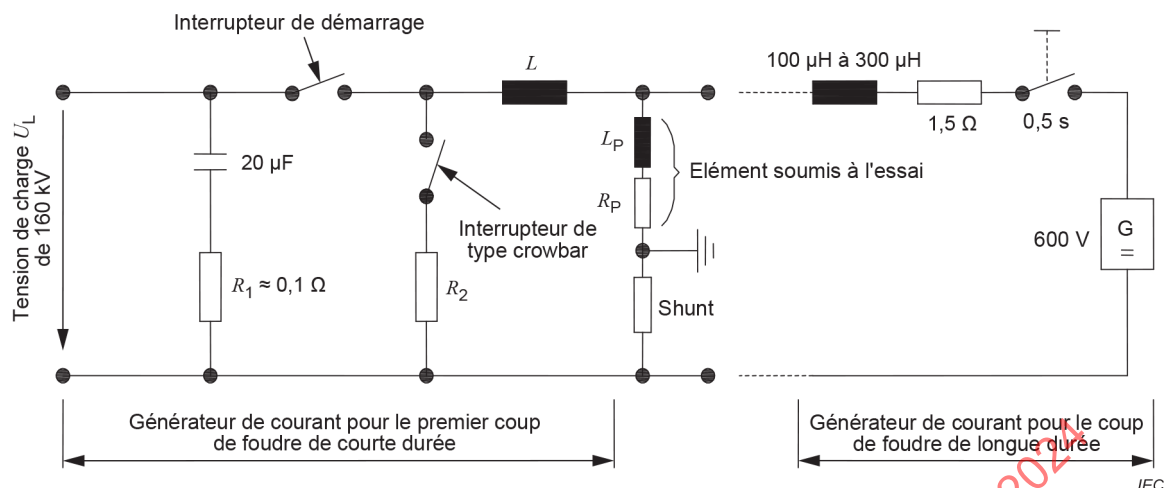
Ces essais peuvent être utilisés pour évaluer l'intégrité mécanique et l'absence d'échauffements indésirables et d'effets de fusion.

Les paramètres d'essai pertinents pour la simulation d'un premier coup positif (courant de crête I , énergie spécifique W/R , et charge du coup de foudre de courte durée Q_{SHORT}) sont indiqués dans le Tableau C.1. Il convient d'obtenir ces paramètres dans le même choc. Cela peut être réalisé par un courant décroissant de manière approximativement exponentielle avec T_2 dans la plage de 350 μs et T_1 inférieur à 50 μs .

Les paramètres d'essai pertinents pour la simulation du coup de foudre de longue durée (charge Q_{LONG} et durée T_{LONG}) sont indiqués dans le Tableau C.2.

Selon le type d'essai et les mécanismes des dommages prévus, les essais pour le premier coup de foudre positif ou pour le coup de foudre de longue durée peuvent être effectués un par un ou de manière associée, où le coup de foudre de longue durée suit immédiatement le premier coup de foudre. Il convient d'effectuer les essais de fusion à l'arc avec les deux polarités.

Il convient que le premier coup négatif ne soit pas utilisé pour les essais.



NOTE Les valeurs s'appliquent au NPF I.

Figure C.1 – Exemple de générateur d'essai pour la simulation de l'énergie spécifique du premier coup de foudre positif et pour la charge du coup de foudre de longue durée

Tableau C.1 – Paramètres d'essai du premier coup positif

Paramètres d'essai		NPF			Tolérance %
		I	II	III à IV	
Courant de crête I	(kA)	200	150	100	-10 à +10
Charge Q_{SHORT}	(C)	100	75	50	-10 à +20
Énergie spécifique W/R	(MJ/Ω)	10	5,6	2,5	-10 à +45

Tableau C.2 – Paramètres d'essai du coup de foudre de longue durée

Paramètres d'essai		NPF			Tolérance %
		I	II	III à IV	
Charge Q_{LONG}	(C)	200	150	100	±20
Durée T_{LONG}	(s)	0,5	0,5	0,5	±10

C.3 Simulation de la raideur du courant de montée des chocs

La raideur du courant détermine les tensions magnétiques induites dans les boucles proches des conducteurs qui acheminent le courant de foudre.

La raideur du courant d'un coup est définie comme l'élévation du courant Δi pendant le temps de montée Δt (Figure C.2). Les paramètres d'essai pertinents pour la simulation de cette raideur de courant sont donnés dans le Tableau C.3. Des exemples de générateurs d'essai sont donnés à la Figure C.3 et à la Figure C.4 (ils peuvent être utilisés pour la simulation de la raideur d'un courant de foudre associé à un coup de foudre direct). La simulation peut être réalisée pour un premier coup positif et un coup négatif subséquent.

NOTE Cette simulation traite de la raideur du courant de montée des chocs. La queue du courant n'a pas d'influence dans ce type de simulation.

La simulation conforme à l'Article C.3 peut être appliquée indépendamment ou combinée avec la simulation décrite à l'Article C.2.