

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61663-1

Première édition
First edition
1999-07

**Protection contre la foudre –
Lignes de télécommunication –**

**Partie 1:
Installations à fibres optiques**

**Lightning protection –
Telecommunication lines –**

**Part 1:
Fibre optic installations**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61663-1:1999

Numéros des publications

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

Publications consolidées

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

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

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

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

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

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

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

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

Numbering

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

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

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

Terminology, graphical and letter symbols

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

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

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61663-1

Première édition
First edition
1999-07

**Protection contre la foudre –
Lignes de télécommunication –**

**Partie 1:
Installations à fibres optiques**

**Lightning protection –
Telecommunication lines –**

**Part 1:
Fibre optic installations**

© IEC 1999 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

V

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
Articles	
1 Domaine d'application et objet.....	6
2 Références normatives.....	6
3 Définitions.....	8
4 Configuration de référence	14
5 Caractéristiques de construction du câble.....	14
5.1 Généralités	14
5.2 Courant de défaut pour les câbles enterrés	16
5.3 Courant de défaut pour les câbles aériens.....	16
6 Nécessité de protection.....	18
7 Mesures de protection.....	20
7.1 Généralités	20
7.2 Câbles diélectriques ou câbles sans partie métallique.....	22
7.3 Choix des caractéristiques des câbles pour des installations souterraines et aériennes.....	22
7.4 Utilisation de fil écran pour des câbles enterrés.....	22
7.5 Redondance du cheminement.....	24
Annexes	
A (normative) Fréquence des défauts primaires, F_p , pour les câbles souterrains et aériens et pour les câbles pénétrant dans une structure exposée aux coups de foudre directs	26
B (normative) Courant de claquage d'enveloppe métallique I_s pour des câbles souterrains et aériens.....	34
C (normative) Valeurs du facteur d'écran.....	38
D (normative) Redondance du cheminement pour câbles souterrains et aériens.....	44
E (informative) Facteur de correction de dommage K_d	48
F (informative) Fréquence tolérable de défauts primaires F_a	52
G (normative) Essai de tenue aux courants de choc.....	54
H (informative) Méthode pour la détermination du courant de défaut	62
I (informative) Bibliographie	68

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
Clause	
1 Scope and object	7
2 Normative references	7
3 Definitions	9
4 Reference configuration	15
5 Construction characteristics of the cable	15
5.1 General	15
5.2 Failure current for buried cables	17
5.3 Failure current for aerial cables	17
6 Need for protection	19
7 Protective measures	21
7.1 General	21
7.2 Dielectric or metal-free cables	23
7.3 Choice of cable characteristics for both buried and aerial installations	23
7.4 Use of shield wire for buried cables	23
7.5 Route redundancy	25
Annexes	
A (normative) Frequency of primary failures F_p for buried and aerial cables and for cables entering a structure exposed to direct lightning strokes	27
B (normative) Sheath breakdown current I_s for both buried and aerial cables	35
C (normative) Shielding factor values	39
D (normative) Route redundancy for both buried and aerial cables	45
E (informative) Damage correction factor K_d	49
F (informative) Tolerable frequency of primary failures F_a	53
G (normative) Tests for surge current resistibility	55
H (informative) Procedure for determining the failure current	63
I (informative) Bibliography	69

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PROTECTION CONTRE LA FOUDRE – LIGNES DE TÉLÉCOMMUNICATION –

Partie 1: Installations à fibres optiques

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61663-1 a été établie par le comité d'études 81 de la CEI: Protection contre la foudre.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
81/136/FDIS	81/142/RVD

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

Les annexes A, B, C, D et G font partie intégrante de cette norme.

Les annexes E, F, H et I sont données uniquement à titre d'information.

Le contenu du corrigendum d'octobre 1999 a été pris en considération dans cet exemplaire.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

LIGHTNING PROTECTION – TELECOMMUNICATION LINES –**Part 1: Fibre optic installations****FOREWORD**

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61663-1 has been prepared by IEC technical committee 81: Lightning protection.

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

FDIS	Report on voting
81/136/FDIS	81/142/RVD

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

Annexes A, B, C, D and G form an integral part of this standard.

Annexes E, F, H and I are for information only.

The contents of the corrigendum of October 1999 have been included in this copy.

PROTECTION CONTRE LA FOUDRE – LIGNES DE TÉLÉCOMMUNICATION –

Partie 1: Installations à fibres optiques

1 Domaine d'application et objet

La présente partie de la CEI 61663 traite de la protection contre la foudre des lignes de télécommunication réalisées avec des installations à fibres optiques.

Son objet est de limiter le nombre possible de défauts primaires apparaissant dans le câble à fibres optiques, dans une installation spécifiée, à une valeur inférieure ou égale à la valeur limite, laquelle est définie comme la fréquence tolérable de défauts primaires.

Ainsi, la présente norme donne la méthode permettant de calculer le nombre possible de défauts primaires, de choisir les mesures de protection possibles et fournit des indications sur la fréquence tolérable de défauts primaires.

Les défauts secondaires ne sont pas traités dans cette norme.

Les essais décrits dans l'annexe G de cette norme sont applicables seulement pour l'évaluation du risque associé à la foudre dans les installations à fibres optiques. Les essais de qualification de la conception du câble ne font pas partie du cadre de cette norme.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 61663. Pour les références datées, les amendements ultérieurs ou les révisions de ces publications ne s'appliquent pas. Toutefois, les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 61663 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Pour les références non datées, la dernière édition du document normatif en référence s'applique. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 61662:1995, *Evaluation des risques de dommages liés à la foudre*

CEI 61024-1:1990, *Protection des structures contre la foudre – Première partie: Principes généraux*

CEI 61024-1-1:1993, *Protection des structures contre la foudre – Partie 1: Principes généraux – Section 1: Guide A – Choix des niveaux de protection pour les installations de protection contre la foudre*

CEI 61312-1:1995, *Protection contre l'impulsion électromagnétique générée par la foudre – Partie 1: Principes généraux*

UIT Manuel de foudre: *Protection des lignes de télécommunication et des équipements contre les décharges de foudre*, UIT, 1974, 1978 et 1995

LIGHTNING PROTECTION – TELECOMMUNICATION LINES –

Part 1: Fibre optic installations

1 Scope and object

This part of IEC 61663 concerns the lightning protection of telecommunication lines in fibre optic installations.

Its object is to limit the number of possible primary failures occurring in the optical fibre cable in a specified installation to within values which are lower than or equal to the limit value, defined as the tolerable frequency of primary failures.

Consequently this standard points out the method for calculating the possible number of primary failures, choosing the feasible protective measures and indicating the tolerable frequency of primary failures.

Secondary failures are not considered in this standard.

The tests described in annex G of this standard are convenient only for the risk evaluation associated with lightning in fibre optic installations. Tests for the qualification of a cable design are outside the scope of this standard.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 61663. For dated references, subsequent amendments to, or revisions of, any of these publications do not apply. However, parties to agreements based on this part of IEC 61663 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. For undated references, the latest edition of the normative document referred to applies. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 61662:1995, *Assessment of the risk of damage due to lightning*

IEC 61024-1:1990, *Protection of structure against lightning – Part 1: General principles*

IEC 61024-1-1:1993, *Protection of structures against lightning – Part 1: General principles – Section 1: Guide A: Selection of protection levels for lightning protection systems*

IEC 61312-1:1995, *Protection against lightning electromagnetic impulse – Part 1: General principles*

ITU Lightning Handbook: *The protection of telecommunication lines and equipment against lightning discharges*, ITU, 1974, 1978 and 1995

3 Définitions

Pour les besoins de la présente partie de la CEI 61663, les définitions suivantes s'appliquent:

3.1

défauts primaires

les défauts primaires sur un câble à fibres optiques sont ceux qui provoquent une interruption de service due à la coupure d'une ou de plusieurs fibres optiques, une augmentation non tolérable de l'atténuation de la fibre optique ou une interruption de l'alimentation éloignée, dans le cas où l'équipement est téléalimenté par des conducteurs métalliques internes au câble optique.

Les défauts primaires sont aussi ceux qui endommagent les câbles, comme la destruction du revêtement de protection, les barrières d'humidité, les éléments d'interconnexion et la graisse de protection, qui, dus à un autre mécanisme de dommage, produiront une augmentation non tolérable de l'atténuation de la fibre optique.

3.2

défauts secondaires

les défauts secondaires sur un câble à fibres optiques sont ceux qui endommagent le câble, tels que la perforation du revêtement plastique de protection, mais qui ne peuvent pas entraîner des défauts primaires

3.3

fréquence des défauts primaires (F_p)

nombre annuel moyen de défauts primaires susceptibles d'apparaître dans une installation à fibres optiques et dus à des coups de foudre directs. La valeur inverse de F_p due à la foudre conduira à connaître le temps moyen en années entre défauts primaires

3.4

risque de défauts primaires (R_d)

moyenne annuelle probable de perte de fonctionnement de l'installation à fibres optiques, en raison de coups de foudre directs

3.5

fréquence tolérable de défauts primaires (F_a)

valeur maximale de la fréquence moyenne annuelle présumée de défauts primaires dus aux coups de foudre directs dans une installation à fibres optiques ne nécessitant pas de dispositifs de protection complémentaires

3.6

risque tolérable de défauts primaires (R_a)

niveau maximal du risque de défauts primaires, R_d , dus à des coups de foudre directs sans besoin de mesures de protection complémentaires

3.7

coup de foudre direct

coup de foudre sur un câble aérien ou sur la surface du sol à l'intérieur de la distance équivalente d'amorçage, D , définie à partir du câble enterré

3.8

fréquence de coups de foudre directs (N_d)

nombre annuel moyen présumé de coups de foudre directs sur une installation à fibres optiques

3 Definitions

For the purpose of this part of IEC 61663, the following definitions apply.

3.1

primary failures

primary failures on the optical fibre cable are those which cause the interruption of service due to breakage of one or more optical fibres, an unacceptable increase in attenuation of the optical fibre, or an interruption in the remote power supply in the equipment if powered by metallic conductors inside the optical cable.

Primary failures are also those that damage the cable, such as destruction of the protective covering, moisture barrier, interconnecting elements and protective jelly, which, due to other mechanisms acting on the damage, lead to an unacceptable increase in attenuation of the optical fibre

3.2

secondary failures

secondary failures on the optical fibre cable are those that damage the cable, such as the puncturing of the plastic protective covering (pinholing), but do not cause primary failures

3.3

frequency of primary failures (F_p)

average annual number of expected primary failures in an optical fibre installation due to direct lightning flashes. The inverse of the F_p due to lightning will yield the mean time between primary failure in years

3.4

risk of primary failures (R_d)

probable average annual loss of function in the optical fibre installation due to direct lightning flashes

3.5

tolerable frequency of primary failures (F_a)

maximum value of expected average annual frequency of primary failures in an optical fibre installation due to direct lightning flashes not requiring additional protective means due to direct lightning flashes

3.6

tolerable risk of primary failures (R_a)

maximum level of the risk of primary failures, R_d , due to direct lightning flashes, not requiring additional protective means

3.7

direct lightning flash

lightning flash to aerial cable or to the ground surface within the equivalent arcing distance, D , from buried cable

3.8

direct lightning flash frequency (N_d)

expected average annual number of direct lightning flashes to an optical fibre installation

3.9

distance équivalente d'amorçage (D)

distance moyenne à partir du câble enterré pour laquelle un coup de foudre peut produire un amorçage

3.10

courant de défaut (I_a)

valeur crête minimale du courant de foudre donnant naissance à un arc direct sur le câble et entraînant des défauts primaires

3.11

courant de claquage dans l'enveloppe (I_s)

courant s'écoulant dans l'enveloppe métallique et qui entraîne des tensions de claquage entre des éléments métalliques de l'âme et l'enveloppe métallique, produisant ainsi des défauts primaires

3.12

courant de connexion (I_c)

valeur minimale du courant entraînant des défauts primaires (voir 3.1), estimée par l'essai de tenue aux courants de choc des éléments d'interconnexion (voir G.3)

3.13

éléments d'interconnexion

éléments métalliques reliant les parties métalliques du câble à fibres optiques aux jonctions et aux extrémités

3.14

courant d'essai (I_t)

courant entraînant des défauts primaires et qui est évalué lors de l'essai de tenue aux courants de choc défini en G.3 pour les éléments d'interconnexion et en G.4 ou G.5 respectivement pour les câbles enterrés ou aériens

3.15

courant de choc (I_p)

courant à utiliser pour l'essai de tenue aux courants de choc pour les câbles à fibres optiques. Le générateur d'essai pour ce courant est à l'étude [2]*.

NOTE – Courants d'essai utilisés dans certains pays:

- courant de forme d'onde à exponentielle double avec un temps de montée de 10 μ s et un temps jusqu'à demi-valeur de 350 μ s (onde 10/350 μ s);
- courant oscillatoire amorti avec une valeur maximale de montée crête de 15 μ s et une fréquence maximale de 30 kHz. Le temps jusqu'à demi-valeur de sa forme enveloppe doit être de 40 μ s à 70 μ s. Ces valeurs sont applicables à des formes d'ondes mesurées avec l'échantillon d'essai en place.

3.16

tension de claquage (U_b)

tension de claquage entre les éléments métalliques de l'âme et l'enveloppe métallique du câble à fibres optiques

* Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie donnée dans l'annexe I.

3.9**equivalent arcing distance (D)**

average distance from buried cable at which a lightning flash can arc to the cable

3.10**failure current (I_a)**

minimum peak value of the lightning current giving rise to a direct arc on the cable and causing primary failures

3.11**sheath breakdown current (I_s)**

current flowing in the metallic sheath which causes breakdown voltages between metallic elements inside the cable core and the metallic sheath, thus leading to primary failures

3.12**connection current (I_c)**

minimum current value causing primary failures (see 3.1), evaluated with the test for surge current resistibility of the interconnecting elements (see G.3)

3.13**interconnecting elements**

metallic elements connecting metallic parts of optical fibre cable at joints and cable ends

3.14**test current (I_t)**

current causing primary failures which is evaluated with the test for surge current resistibility shown in G.3 for interconnecting elements and in G.4 or G.5 for buried or aerial cables respectively

3.15**impulse current (I_p)**

current to be used in the test for surge current resistibility of optical fibre cables. The test generator of this current is under consideration [2]*

NOTE – Test currents used in certain countries include the following:

- double exponential waveform current with a rise time of 10 μs and a time to half value of 350 μs (10/350 μs waveform);
- damped oscillatory current with a maximum time-to-peak value of 15 μs and a maximum frequency of 30 kHz. The time to half value of its waveform envelope shall be 40 μs to 70 μs . These values apply to the waveforms measured with the test sample in place.

3.16**breakdown voltage (U_b)**

impulse breakdown voltage between metallic elements inside the cable core and the metallic sheath of the optical cable

* Figures in square brackets refer to the bibliography given in annex I.

3.17

facteur de correction de dommage (K_d)

facteur qui permet une évaluation sûre de la fréquence des défauts primaires

NOTE – Les variations du facteur K_d sont expliquées dans l'annexe E.

3.18

dispositif de protection contre les surtensions et les surintensités (DPS)

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

3.19

barre d'équipotentialité (BE)

barre conductrice dont le potentiel électrique est pris comme référence et à laquelle les équipements métalliques, les masses, les lignes électriques et de télécommunication et d'autres câbles peuvent être connectés (voir CEI 61024-1)

3.20

courant de foudre direct sur les câbles aériens (J)

courant de foudre minimal qui frappe un câble aérien et qui entraîne une décharge au sol

3.21

structure exposée

structure telle qu'une tour de télécommunication ou un bâtiment élevé, qui nécessite une protection contre les coups de foudre directs, en accord avec la CEI 61024-1-1

3.22

jours orageux (T_d)

nombre de jours par an où l'on entend le tonnerre, obtenu par des cartes isokérauniques (voir CEI 61024-1-1)

3.23

densité de foudroisement (N_g)

densité moyenne des impacts au sol exprimée en nombre de coups de foudre au sol par kilomètre carré et par an, se référant à la région où la structure ou le câble en fibres optiques est situé

3.24

surface de capture des foudres

surface au sol qui a la même fréquence annuelle de coups de foudre directs que la structure ou la ligne

3.25

facteur de déviation des coups de foudre

pour une structure ou une ligne isolée, la surface de capture des foudres est la surface limitée par la ligne obtenue par l'interception avec le sol d'une droite de pente 1/3 partant du sommet de la structure ou de la ligne (la touchant à ce point) et tournant autour d'elle. Le numéro 3, qui est renversé par rapport au nombre de la pente, est le facteur de déviation des coups de foudre (voir CEI 61024-1-1)

3.26

ligne ou réseau de télécommunication

moyen de transmission utilisé pour la communication entre des équipements qui peuvent être situés dans des bâtiments séparés

3.17**damage correction factor (K_d)**

factor which allows a conservative evaluation of the frequency of primary failures

NOTE – The derivation of factor K_d is explained in annex E.

3.18**surge protective device (SPD)**

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

3.19**equipotential bonding bar (EBB)**

an electrically conductive bar whose electric potential is used as common reference, and to which metal installation, extraneous conductive parts, electrical power and telecommunication lines and other cables can be bonded (see IEC 61024-1)

3.20**direct lightning current to aerial cables (J)**

the minimum lightning current which strikes an aerial cable causing a flashover to ground

3.21**exposed structure**

a structure, e.g. telecommunication tower, high building, which needs to be protected against direct lightning strokes, as required by IEC 61024-1-1

3.22**thunderstorm days (T_d)**

number of thunderstorm days per year obtained from isokeraunic maps (see IEC 61024-1-1)

3.23**ground flash density (N_g)**

average ground flash density expressed in flashes per square kilometre per year, concerning the region where the structure or the optical fibre cable is located

3.24**lightning collection area**

an area of ground surface which has the same annual frequency of direct lightning as the structure or the line

3.25**stroke diversion factor**

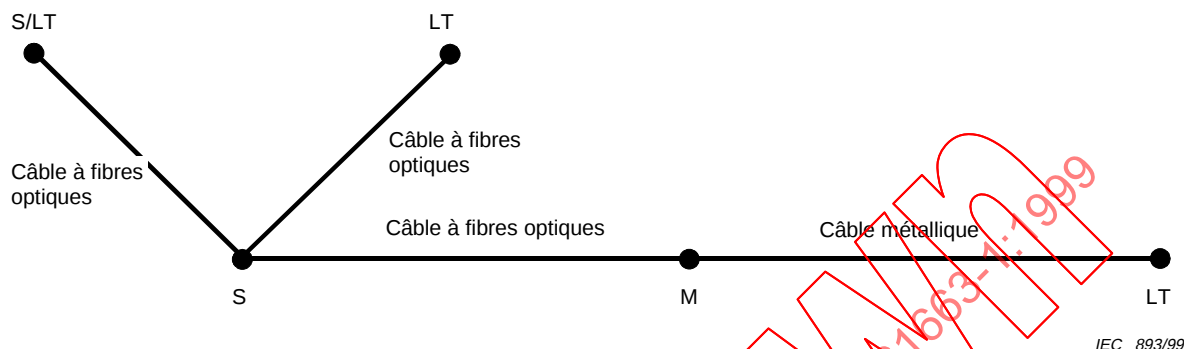
for an isolated structure or line, the lightning collection area is the area enclosed within the border line obtained from the interception between the ground surface and a straight line with 1/3 slope which passes from the upper parts of the structure or line (touching it there) and rotating around it. The number 3, which is the reverse of the slope number, is the stroke diversion factor (see IEC 61024-1-1)

3.26**telecommunication line or network**

a transmission medium intended for communication between equipment that may be located in separate buildings

4 Configuration de référence

La figure 1 représente la configuration de référence pour les installations à fibres optiques, et montre les connexions avec des câbles à fibres optiques entre deux commutateurs, entre le commutateur et la terminaison de ligne et entre le commutateur et les équipements dans le réseau.



S commutateur

M équipement

LT terminaison de ligne

Équipement: par exemple multiplexeur, terminaison de réseau optique

Figure 1 – Configuration de référence

NOTE – En ce qui concerne les exigences pour la protection contre la foudre du câble métallique entre l'équipement et l'abonné, voir [1].

5 Caractéristiques de construction du câble

5.1 Généralités

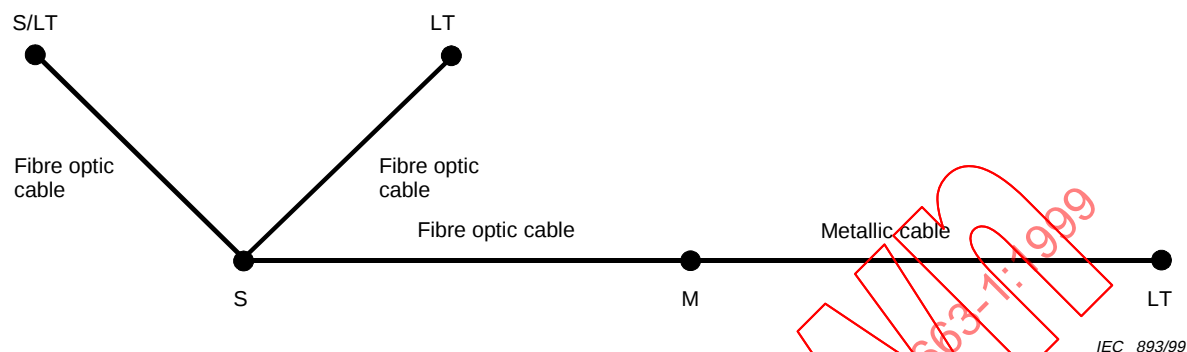
La présente norme est applicable aux câbles optiques des types suivants:

- type A: câble avec âme diélectrique et sans élément métallique (câble diélectrique sans aucun élément métallique dans le câble);
- type B: câble avec âme diélectrique et enveloppe(s) métallique(s): aucun élément métallique dans l'âme du câble, qui présente une enveloppe métallique (par exemple la barrière contre l'humidité) ou un support métallique;
- type C: câble avec éléments métalliques dans l'âme et avec une ou des enveloppes métalliques: il existe des éléments métalliques tels que conducteurs ou renforcements dans l'âme du câble, lequel a une ou plusieurs enveloppes métalliques;
- type D: câble avec éléments métalliques dans l'âme et sans enveloppe métallique.

Pour les câbles de type B, C et D, la valeur possible de courant de défaut, I_a , doit être calculée.

4 Reference configuration

Figure 1 represents the reference configuration for optical fibre installations, where the connections with optical fibre cables between two switches, between switch and line termination, and between switch and line equipment are shown.



S switch

M equipment

LT line termination

Equipment: e.g. multiplexor, optical network unit

Figure 1 – Reference configuration

NOTE – For the requirements on protection against lightning of the metallic cable installation between equipment and subscriber, see [1].

5 Construction characteristics of the cable

5.1 General

This standard applies to the following types of optical fibre cables:

- type A: cable with dielectric core but having no metal elements (dielectric, or metal-free cable);
- type B: cable with dielectric core and metal sheath or sheaths: there are no metal elements in the core of the cable which has a metal sheath (for example the moisture barrier) or a metallic supporting wire;
- type C: cable with metal elements in the core and with a metal sheath or sheaths: there are metal elements, such as conductors or strength members, in the core of the cable which has one or more metal sheaths;
- type D: cable with metal elements in the core and without a metal sheath.

For cable types B, C and D, the possible value of failure current, I_a , shall be evaluated.

5.2 Courant de défaut pour les câbles enterrés

Le courant de défaut, I_a , est la plus petite valeur des valeurs suivantes (figure 2) (voir H.1):

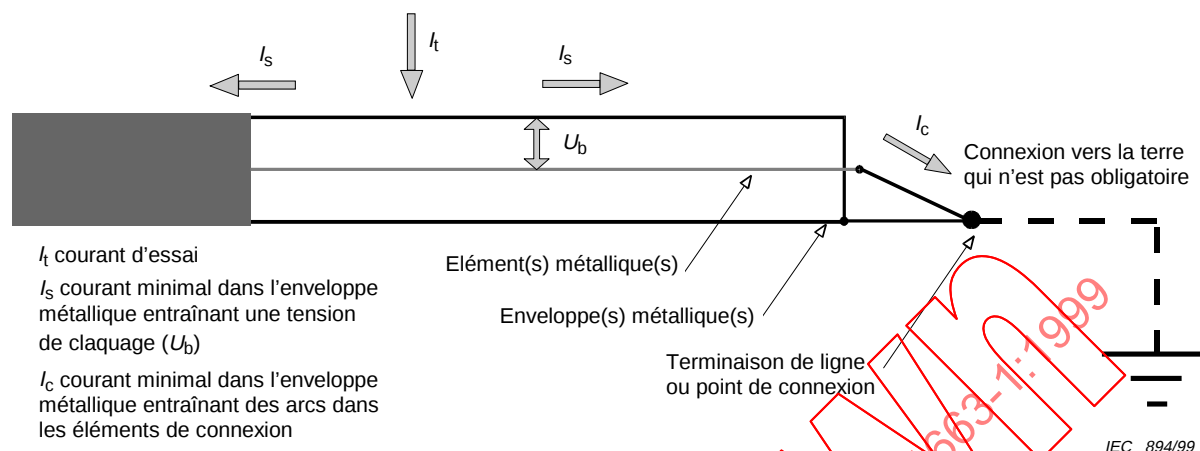


Figure 2 – Courants dans un échantillon de câble en essai

- deux fois le courant de connexion, I_c , estimé lors de l'essai de tenue aux courants de choc des éléments de connexion (voir G.3);
- le courant d'essai, I_t , calculé selon l'essai de tenue aux courants de choc pour les câbles enterrés indiqué en G.4;
- deux fois le courant de claquage dans l'enveloppe, I_s , s'écoulant dans l'enveloppe métallique et entraînant une tension de claquage entre les éléments métalliques internes au câble et l'enveloppe métallique avec ou sans revêtement isolant plastique. Ce courant I_s est calculé par l'équation (B.1).

Ainsi

$$I_a = I_t \quad \text{si} \quad I_t < 2I_s; I_t < 2I_c \quad (1)$$

ou

$$I_a = 2I_s \quad \text{si} \quad I_t > 2I_s; I_s < I_c \quad (2)$$

ou

$$I_a = 2I_c \quad \text{si} \quad I_t > 2I_c; I_c < I_s \quad (3)$$

5.3 Courant de défaut pour les câbles aériens

Le courant de défaut, I_a , est la plus petite valeur des valeurs suivantes (figure 2) (voir H.2):

- deux fois le courant de connexion, I_c , estimé lors de l'essai de tenue aux courants de choc des éléments de connexion (voir G.3);
 - courant d'essai I_t calculé selon l'essai de tenue aux courants de choc pour les câbles aériens indiqué en G.5.
- a) Câble aérien sans mise à la terre de l'enveloppe métallique
- Le courant de foudre direct, J (voir 3.20), frappe le câble aérien et génère un claquage avec le sol. Ce courant de foudre J est calculé par l'équation (B.3).

5.2 Failure current for buried cables

The failure current, I_a , is the lower value of the following values (figure 2) (see H.1):

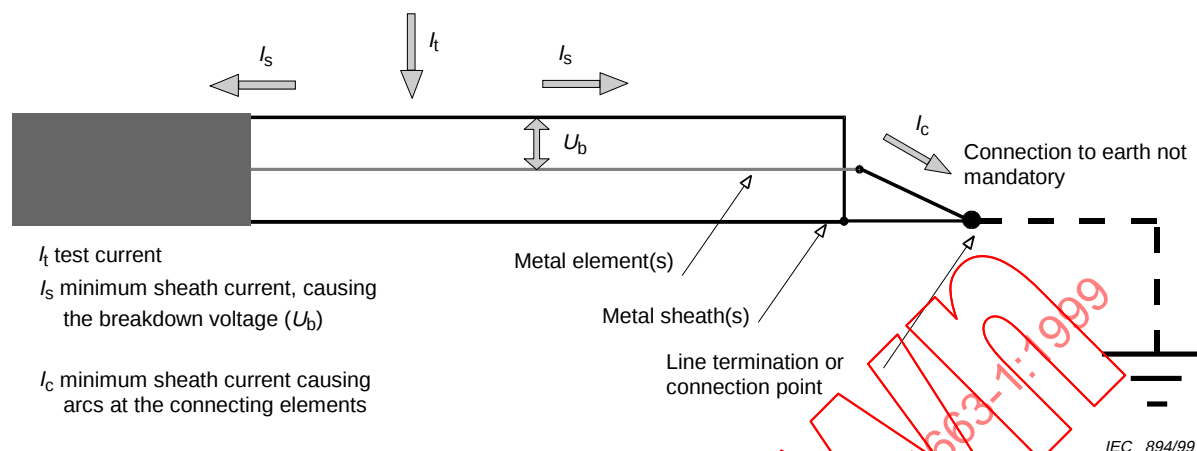


Figure 2 – Currents in a cable test sample

- twice the connection current, I_c , evaluated with the test for surge current resistibility of the interconnecting elements (see G.3);
- the test current, I_t , evaluated with the type test for surge current resistibility for buried cables shown in G.4;
- twice the sheath breakdown current, I_s , flowing in the cable sheath, which causes breakdown voltage between metallic elements inside the cable core and the metallic sheath with or without insulating plastic covering. This current, I_s , is calculated using equation (B.1).

Then

$$I_a = I_t \quad \text{if} \quad I_t < 2I_s; I_t < 2I_c \quad (1)$$

or

$$I_a = 2I_s \quad \text{if} \quad I_t > 2I_s; I_s < I_c \quad (2)$$

or

$$I_a = 2I_c \quad \text{if} \quad I_t > 2I_c; I_c < I_s \quad (3)$$

5.3 Failure current for aerial cables

The failure current, I_a , is the lower value of the following values (figure 2) (see H.2):

- twice the connector current, I_c , evaluated with the test for surge current resistibility of the interconnecting elements (see G.3);
 - the test current, I_t , evaluated with the type test for surge current resistibility for aerial cables shown in G.5.
- a) Aerial cable without earth connections of the metal sheath
- The direct lightning current, J , (see 3.20), which strikes the aerial cable and causes a flashover to ground. This lightning current, J , is estimated using equation (B.3).

Alors

$$I_a = I_t \quad \text{si} \quad I_t < J; I_t < 2I_c \quad (4)$$

ou

$$I_a = J \quad \text{si} \quad I_t > J; J < I_c \quad (5)$$

ou

$$I_a = 2I_c \quad \text{si} \quad I_t > 2I_c; 2I_c < J \quad (6)$$

b) Câble aérien avec mise à la terre de l'enveloppe métallique

- Deux fois le courant de claquage d'enveloppe, I_s , qui, dans ce cas, peut être calculé par l'équation (B.4).

Alors

$$I_a = I_t \quad \text{si} \quad I_t < 2I_s; I_t < 2I_c \quad (7)$$

ou

$$I_a = 2I_s \quad \text{si} \quad I_t > 2I_s; I_s < I_c \quad (8)$$

ou

$$I_a = 2I_c \quad \text{si} \quad I_t > 2I_c; I_c < I_s \quad (9)$$

Pour des câbles sans éléments métalliques dans l'âme, ou pour des câbles comportant plusieurs enveloppes métalliques, le courant I_s ne doit pas être évalué.

6 Nécessité de protection

La nécessité d'une protection contre la foudre d'une installation à fibres optiques dépend de la fréquence des défauts primaires, F_p , et de la fréquence tolérable des défauts primaires, F_a .

La fréquence des défauts primaires, F_p , est calculée en utilisant l'équation suivante:

$$F_p = F_{pb} + F_{pa} + F_{ps} \quad (10)$$

où

F_{pb} est la fréquence des défauts primaires sur câbles enterrés;

F_{pa} est la fréquence des défauts primaires sur câbles aériens;

F_{ps} est la fréquence des défauts primaires dus à des coups de foudre directs sur des structures exposées dans lesquelles des câbles à fibres optiques pénètrent.

Les fréquences de défauts primaires F_{pb} , F_{pa} , F_{ps} sont estimées en utilisant respectivement les équations (A.6), (A.9) et (A.10).

Si la fréquence des défauts primaires, F_p , est supérieure à la fréquence tolérable, F_a , des mesures de protection sont nécessaires pour réduire F_p et minimiser le risque de défauts primaires, R_d .

Le risque de défauts primaires est évalué avec l'équation suivante (voir annexe F) (voir CEI 61662):

$$R_d = F_p \times \delta \quad (11)$$

où δ est le nombre de pertes présumées par défaut primaire et la fréquence des défauts primaires, F_p , est calculée avec l'équation (10).

Then

$$I_a = I_t \quad \text{if} \quad I_t < J; I_t < 2I_c \quad (4)$$

or

$$I_a = J \quad \text{if} \quad I_t > J; J < I_c \quad (5)$$

or

$$I_a = 2I_c \quad \text{if} \quad I_t > 2I_c; 2I_c < J \quad (6)$$

b) Aerial cable with earth connections of the metal sheath

- Twice the breakdown sheath current, I_s , which, in this case, may be estimated using equation (B.4).

Then

$$I_a = I_t \quad \text{if} \quad I_t < 2I_s; I_t < 2I_c \quad (7)$$

or

$$I_a = 2I_s \quad \text{if} \quad I_t > 2I_s; I_s < I_c \quad (8)$$

or

$$I_a = 2I_c \quad \text{if} \quad I_t > 2I_c; I_c < I_s \quad (9)$$

For cables without metallic elements inside the cable core or for cables with more than one metal sheath, the current I_s shall not be evaluated.

6 Need for protection

The need for lightning protection of an optical fibre installation depends on the frequency of primary failures, F_p , and its accepted frequency of primary failures, F_a .

The frequency of primary failures, F_p , is given by the following equation:

$$F_p = F_{pb} + F_{pa} + F_{ps} \quad (10)$$

where

F_{pb} is the frequency of primary failures to buried cables;

F_{pa} is the frequency of primary failures to aerial cables;

F_{ps} is the frequency of primary failures due to direct lightning strokes to exposed structure that the optical fibre cable enters.

The frequency of primary failures, F_p , is estimated by using annex A, in particular equation (A.6) for F_{pb} , equation (A.9) for F_{pa} and equation (A.10) for F_{ps} .

If the frequency of primary failures, F_p , is higher than the tolerable frequency of primary failures, F_a , protective measures are necessary to reduce F_p and minimise the risk of primary failures, R_d .

The risk of primary failures is estimated with the following equation (see annex F) (see IEC 61662):

$$R_d = F_p \times \delta \quad (11)$$

where δ is the relative amount of the expected losses per primary failures and the frequency of primary failures, F_p , is given by the equation (10).

Alors

$$R_d = F_{ps} \times \delta_s + (F_{pb} + F_{pa}) \times \delta_d \quad (12)$$

Il est recommandé que chaque opérateur de réseau définisse la fréquence tolérable de défauts primaires, F_a , et le risque tolérable de dommages, R_a ; des valeurs représentatives de F_a et de R_a sont données dans l'annexe F.

7 Mesures de protection

7.1 Généralités

Les éléments métalliques d'un câble à fibres optiques doivent être continus (c'est-à-dire qu'ils doivent être interconnectés au niveau des épissures, régénérateurs, etc.) sur toute la longueur du câble. Les éléments métalliques doivent être reliés à la barre d'équipotentialité (BE) soit directement, soit par l'intermédiaire de DPS aux extrémités du câble (figure 3).

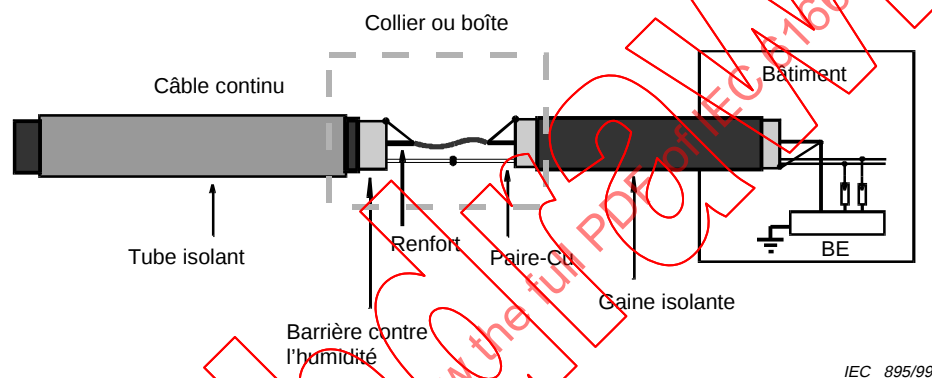


Figure 3 – Exemple de connexion des éléments métalliques

L'interconnexion d'éléments métalliques tels que l'enveloppe métallique, la barrière d'humidité ou les renforts aux jonctions n'est pas obligatoire pour les câbles n'utilisant pas de conducteurs métalliques pour les signaux et l'alimentation (voir note en 7.4).

Si la barre d'équipotentialité du bâtiment de l'abonné n'est pas disponible, les éléments métalliques du câble à fibres optiques doivent être reliés à une barre dédiée d'équipotentialité, sur la borne de l'opérateur de réseau.

Pour les câbles à fibres optiques comportant des éléments métalliques, les mesures de protection suivantes, pouvant être aussi combinées, sont généralement adoptées:

- utilisation de câbles diélectriques ou de câbles sans partie métallique;
- choix du type de câble en souterrain et en aérien avec valeur plus élevée de courant de défaut;
- utilisation de fil écran uniquement pour câbles souterrains;
- mise à la terre de l'enveloppe le long du cheminement de câbles aériens uniquement (voir 5.1);

Therefore

$$R_d = F_{ps} \times \delta_s + (F_{pb} + F_{pa}) \times \delta_d \quad (12)$$

Each network operator should define the tolerable frequency of primary failures, F_a , and the tolerable risk of damage, R_a ; representative values of F_a and R_a are given in annex F.

7 Protective measures

7.1 General

The metallic elements of an optical fibre cable shall be continuous (i.e. they shall be connected across all splices, regenerators, etc.) along the length of the cable. The metallic elements shall be connected to the equipotential bonding bar (EBB), either directly or through an SPD, at the ends of the cable (figure 3).

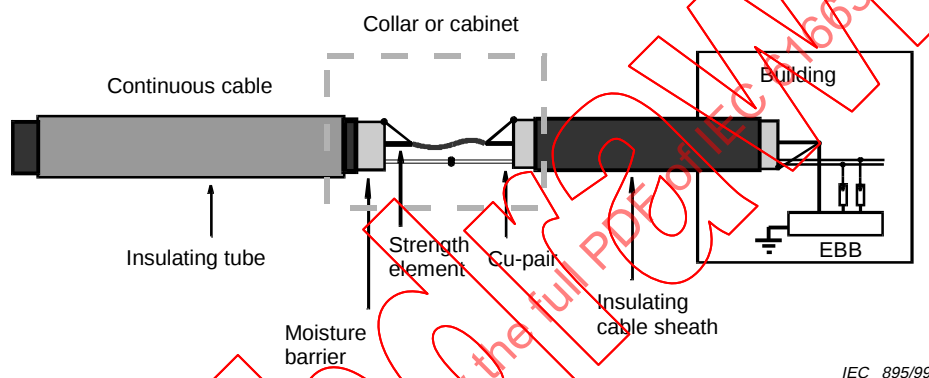


Figure 3 – Example of metallic elements connection

Interconnection of single metallic components such as armouring, moisture barrier or strength member through joints is not compulsory in cables which do not use metallic conductors for signals or power (see note in 7.4).

If the EBB of the subscriber building is not available, the metallic elements of the optical fibre cable shall be connected to a dedicated EBB inside the optical network termination.

For optical fibre cables with metal elements, the following protective measures, which can also be combined, are usually considered:

- use of dielectric or metal-free cables;
- choice of cable type with higher value of failure current for both buried and aerial cables;
- use of shield wires for buried cables only;
- earthing of metal sheath along the route for aerial cables only (see 5.1);

- redondance de cheminement pour les câbles souterrains et aériens;
- utilisation de parafoudres pour la protection des paires métalliques de câbles souterrains et aériens.

NOTE 1 – Pour utiliser des DPS sur des paires métalliques, voir [1].

NOTE 2 – La mise à la terre de l'enveloppe métallique le long du cheminement de câbles souterrains, présentant des éléments métalliques dans l'âme, n'est pas envisagée, car l'efficacité d'une telle mesure de protection est négligeable sur la réduction de défauts primaires.

NOTE 3 – Les câbles pénétrant des structures exposées (voir la CEI 61662) peuvent nécessiter une protection complémentaire conformément aux règles du Manuel de Foudre de l'UIT afin de réduire F_{ps} (voir annexe A).

7.2 Câbles diélectriques ou câbles sans partie métallique

L'utilisation de câbles diélectriques ou de câbles sans partie métallique protège les câbles contre les dommages dus à la foudre.

NOTE 1 – Un câble aérien non métallique n'est pas susceptible d'être soumis à des coups de foudre directs. Jusqu'à aujourd'hui il n'y a pas eu d'expériences relatives à ces dommages.

NOTE 2 – Pour les câbles enterrés, il convient de prendre en compte la diminution de la résistance du câble due à la pénétration de l'humidité et la difficulté de localiser ces points d'entrée lors des travaux de maintenance. De plus, des câbles métalliques situés dans le même caniveau peuvent être soumis à des coups de foudre directs et, par suite, entraîner la destruction du câble optique (ce dommage n'est pas encore connu). Le même type de problème peut apparaître si un câble sans partie métallique est installé près d'un arbre ou est accompagné d'un conducteur métallique destiné à permettre de retrouver le câble optique.

7.3 Choix des caractéristiques des câbles pour des installations souterraines et aériennes

Chaque câble possède sa propre valeur de courant de foudre de défaut, I_a , calculée comme indiqué en H.1 et H.2.

Le choix du type de câble implique une valeur spécifique de courant de foudre de défaut I_a , lequel doit être introduit dans l'équation (A.6) ou (A.9) pour le calcul de la fréquence des défauts primaires F_p .

Plus I_a est élevé, plus F_p est faible.

7.4 Utilisation de fil écran pour des câbles enterrés

La probabilité de dommages sur des câbles enterrés peut être réduite par l'utilisation des fils écrans.

Les fils écrans interceptent une partie du courant de foudre, cela réduisant le courant de foudre du câble.

Pour une installation adéquate de fil écran (voir le Manuel de foudre UIT), le facteur d'écran, appelé η , implique que 100η % du courant de foudre s'écoule dans l'enveloppe métallique. Le facteur d'écran peut être calculé selon la méthode indiquée dans l'annexe C.

- route redundancy for both buried and aerial cables;
- use of surge arresters for the protection of the metallic pairs of both buried and aerial cables.

NOTE 1 – For the use of SPDs on metallic pairs, see [1].

NOTE 2 – Earthing of the metal sheath along the route for buried cables having metal elements in the cable core is not considered because the effectiveness of such a protective measure is negligible on the reduction of the primary failure number.

NOTE 3 – Cables leading to exposed structures (see IEC 61662) may need to be protected by additional protective measures according to the ITU Lightning Handbook in order to reduce F_{ps} (see annex A).

7.2 Dielectric or metal-free cables

The use of dielectric or metal-free cables prevents cable damage due to lightning.

NOTE 1 – A non-metallic aerial cable is not directly susceptible to lightning damage. In fact until now there has been no experience of such damage.

NOTE 2 – For buried cables, the lowered resistance of the cable to moisture penetration and the difficulty of locating them during subsequent maintenance activities should be considered. Moreover metallic cables in the same ditch may be hit by direct lightning strikes and, as a consequence, the optical cable can also be destroyed (such damage is, until now, unknown). The same kind of problem may appear when a metal-free cable is installed close to a tree or is accompanied by a metallic conductor for locating the optical cable.

7.3 Choice of cable characteristics for both buried and aerial installations

Each cable type has its own specific value of failure current, I_a , which is evaluated as indicated in H.1 and H.2.

The choice of cable type implies a specific value of failure current, I_a , which shall be put into equation (A.6) or (A.9) to calculate the frequency of primary failures, F_p .

The higher the value of I_a , the lower the value of F_p .

7.4 Use of shield wire for buried cables

The probability of damage to buried cables can be reduced by the use of shield wires.

Shield wires intercept a portion of the stroke current, thus reducing the amount of current striking the cable.

For properly installed shield wires (see ITU Lightning Handbook), the shielding factor value, denoted by η , implies that 100η % of the stroke current flows on the cable sheath. Shielding factor values can be calculated with the method described in Annex C.

L'amélioration de la fréquence de défauts primaires F_p , due aux fils écrans, peut être calculée comme suit:

$$F_p = N_d \times p (\geq I_a / \eta) \quad (13)$$

où

N_d est le nombre moyen annuel présumé de coups de foudre directs sur le câble (voir 3.8), calculé selon l'annexe A;

p est le probabilité d'égalité ou de supériorité entre le courant crête de foudre et I_a / η ;

I_a est le courant de foudre de défaut;

η est le facteur d'écran.

NOTE – Dans le cas d'un câble à âme non métallique (c'est-à-dire que le seul composant métallique est l'enveloppe), la protection contre l'induction provenant des lignes électriques peut être réalisée par la continuité aux épissures de l'enveloppe métallique, avec une mise à la terre des répéteurs et des épissures s'il est nécessaire de limiter la tension entre enveloppe et terre à une valeur inférieure aux limites.

L'installation de fils écrans permet aussi l'utilisation d'un autre schéma de protection coordonnée, l'interruption de l'enveloppe métallique, c'est-à-dire la barrière contre l'humidité, à chaque épissure ou à d'autres points pour limiter la tension induite entre l'enveloppe métallique et la terre à des valeurs inférieures aux limites [8].

7.5 Redondance du cheminement

La disponibilité d'ensemble du service peut être améliorée par une redondance du cheminement telle qu'une seconde voie parallèle qui peut être nécessaire pour d'autres raisons comme le besoin d'autres services.

Dans ce cas, la méthode présentée dans l'annexe D fournit une aide à la décision pour déterminer la séparation optimale des cheminements afin d'améliorer la disponibilité d'ensemble du service respectivement pour les câbles souterrains et aériens.

Improvement to the frequency of primary failures, F_p , due to shield wires can be calculated as follows:

$$F_p = N_d \times p (\geq I_a / \eta) \quad (13)$$

where

N_d is the expected average annual number of direct lightning flashes to the cable (see 3.8), calculated in annex A;

p is the probability for the lightning peak current to be equal to or higher than I_a/η value;

I_a is the failure current;

η is the shielding factor.

NOTE – In the case of a metal-free cable core (i.e. there is only one metallic component, the sheath), the protection against induction from electrical lines can be obtained by keeping the sheath(s) continuous at splices, providing earthing at repeaters and providing earth electrodes at splices only where required to limit the sheath to earth voltage to a value below the limits.

The installation of shield wire(s) also allows the use of another co-ordinated protection scheme, the interruption of the metallic sheath, i.e. the moisture barrier, at each splice or additionally at intermediate locations as required to keep the induced sheath to earth voltage values below the limits [8].

7.5 Route redundancy

The overall service availability can be improved by implementing route redundancy using a second parallel route, which may be required for other reasons, such as the need for increased facilities.

In such a case, the method presented in annex D can aid in deciding the optimal route separation distance to improve the overall service availability for buried and aerial cables respectively.

Annexe A (normative)

Fréquence des défauts primaires, F_p , pour les câbles souterrains et aériens et pour les câbles pénétrant dans une structure exposée aux coups de foudre directs

A.1 Câbles souterrains

Pour calculer le taux annuel de défauts primaires, la fréquence de coups de foudre directs N_d est d'abord calculée comme suit:

$$N_d = K_d \times N_g \times 2DL/1\,000 \quad \text{impacts/an} \quad (\text{A.1})$$

où

$K_d = 2,5$ est le facteur de correction de dommage défini en 3.17;

N_g est la densité d'impacts au sol exprimée en nombre annuel d'impacts par kilomètre carré; si N_g n'est pas donnée, on peut utiliser la relation suivante (laquelle varie selon les conditions climatiques) (voir CEI 61024-1-1):

$$N_g = 0,04 \times T_d^{1,25} \quad (\text{A.2})$$

où

T_d est le nombre de jours orageux par an. T_d peut être obtenu par des cartes isokérauniques. Des cartes isokérauniques plus détaillées peuvent être obtenues auprès d'agences nationales;

$2DL$ dans l'équation (A.1), caractérise la zone susceptible d'être frappée par un coup de foudre direct ou de produire un arc;

L est la longueur en kilomètres;

D est la distance équivalente d'amorçage et est calculée en utilisant la probabilité de distribution du courant de foudre aux structures enterrées et aériennes indiquée dans la figure A.2 et donnée dans les équations (A.3) et (A.4) (voir annexe E).

$$D = 0,482\sqrt{\rho} \text{ (m)}; \quad \text{pour } \rho \leq 100 \, \Omega\text{m} \quad (\text{A.3})$$

$$D = 0,283\sqrt{\rho} \text{ (m)}; \quad \text{pour } \rho \geq 1\,000 \, \Omega\text{m} \quad (\text{A.4})$$

où

ρ est la résistivité du sol (Ωm), et est l'inverse de la conductivité du sol. La valeur de ρ peut être obtenue par des cartes de résistivité ou peut être mesurée. Une méthode d'interpolation algébrique ou graphique peut être utilisée pour le calcul de D pour des valeurs de ρ comprises entre $100 \, \Omega\text{m}$ et $1\,000 \, \Omega\text{m}$. La figure A.1 illustre la technique graphique obtenue à partir de l'équation (A.5):

$$D = 0,191 (\sqrt{\rho - 10}) + 4,82 \quad (\text{A.5})$$

Par exemple, dans la figure A.1, la distance équivalente d'amorçage est $D = 7,2 \text{ m}$ et $\rho = 500 \, \Omega\text{m}$.

Annex A (normative)

Frequency of primary failures F_p for buried and aerial cables and for cables entering a structure exposed to direct lightning strokes

A.1 Buried cables

To estimate the primary failure rate per year, the direct lightning flash frequency, N_d , is first determined as follows:

$$N_d = K_d \times N_g \times 2DL/1\,000 \quad \text{flashes/year} \quad (\text{A.1})$$

where

$K_d = 2,5$ is the damage correction factor, defined in 3.17;

N_g is the lightning flash density expressed in terms of flashes to ground per square kilometre per year; if N_g is not available, it may be estimated by the use of the following relationship (which varies with changes in climate conditions) (see IEC 61024-1-1):

$$N_g = 0,04 \times T_d^{1,25} \quad (\text{A.2})$$

where

T_d is the number of thunderstorm days. T_d can be estimated using isokeraunic maps. More detailed isokeraunic maps of limited areas also exist and can be obtained from national government agencies;

$2DL$ in equation (A.1) constitutes the area which is susceptible to direct lightning strike or arcing from a stroke point;

L is the length in kilometres;

D is the equivalent arcing distance and is calculated using the probability distribution of lightning stroke current to both buried and aerial structures reported in figure A.2 and given in equation (A.3) and (A.4) (see annex E):

$$D = 0,482\sqrt{\rho} \text{ (m); for } \rho \leq 100 \text{ } \Omega\text{m} \quad (\text{A.3})$$

$$D = 0,283\sqrt{\rho} \text{ (m); for } \rho \geq 1\,000 \text{ } \Omega\text{m} \quad (\text{A.4})$$

where

ρ is the soil resistivity Ωm , and is the reciprocal of soil conductivity. The value of ρ can be found from soil resistivity maps or it can be measured.

For values of ρ between 100 Ωm and 1 000 Ωm , an algebraic or graphical interpolation method may be used to calculate D . Figure A.1 illustrates the graphical technique, obtained by equation (A.5)

$$D = 0,191 (\sqrt{\rho} - 10) + 4,82 \quad (\text{A.5})$$

As an example, using figure A.1, the equivalent arcing distance is $D = 7,2$ m, and $\rho = 500 \text{ } \Omega\text{m}$.

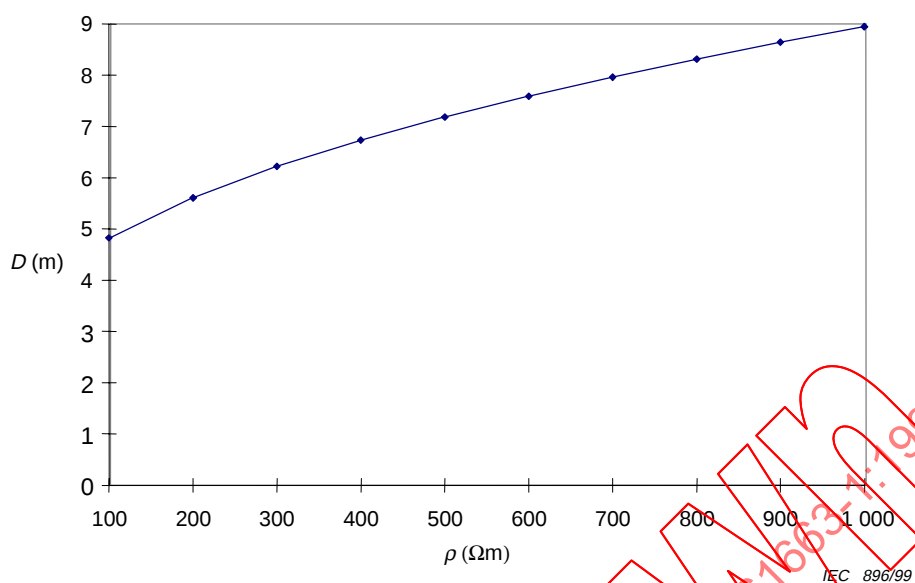


Figure A.1 – Distance équivalente d'amorçage en fonction de la résistivité du sol

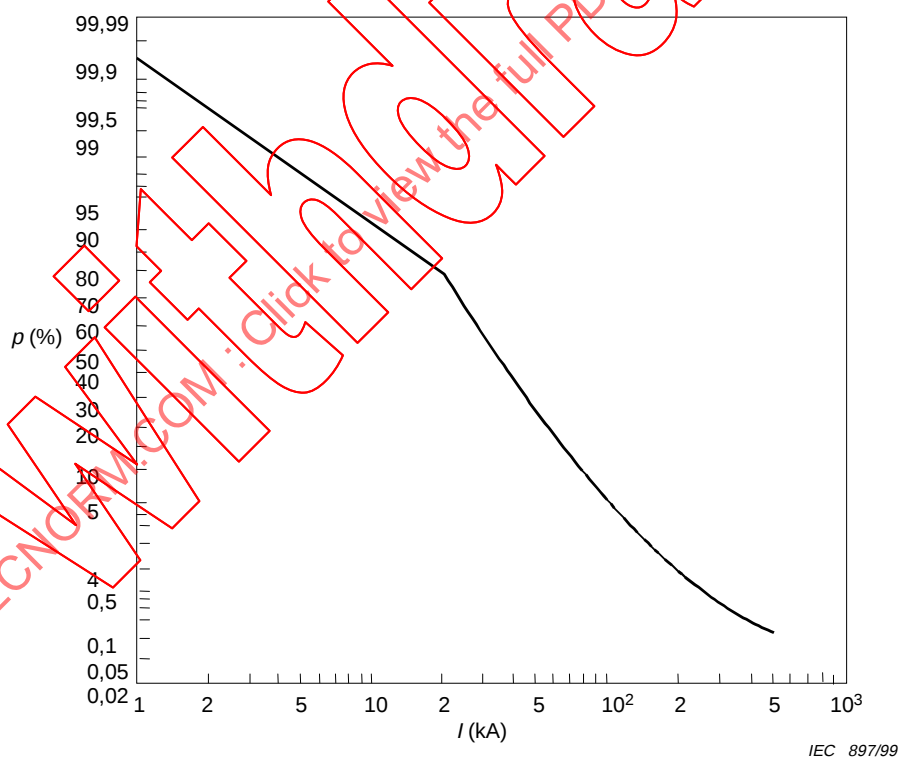


Figure A.2 – Distribution cumulative de probabilités de courants crête de foudre sur des structures enterrées et aériennes

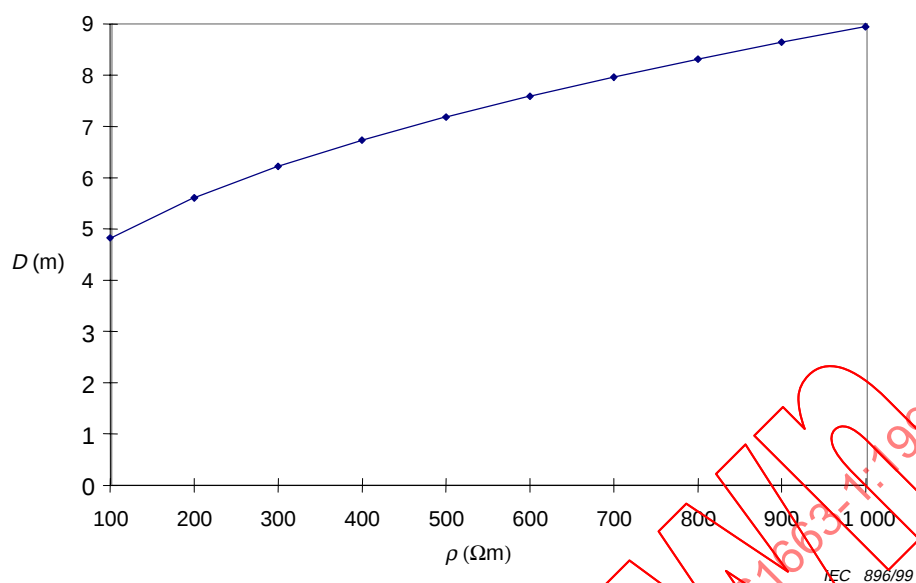


Figure A.1 – Equivalent arcing distance versus soil resistivity

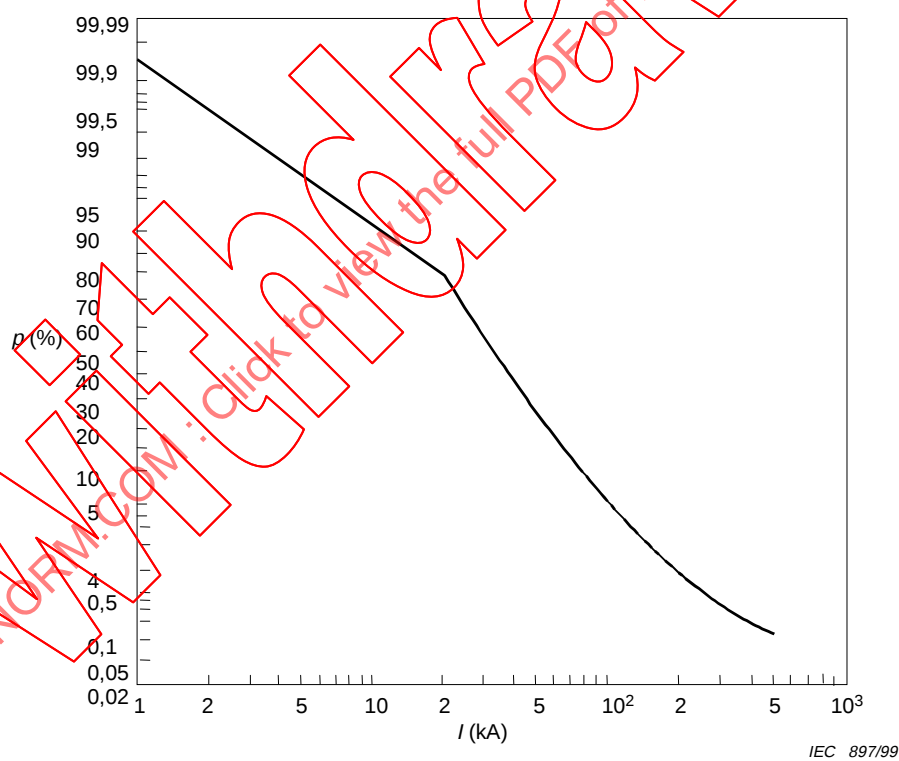


Figure A.2 – Cumulative lightning peak current distribution to both buried and aerial structures

Pour le calcul de la fréquence des défauts primaires, F_{pb} , le nombre des coups de foudre directs doit être multiplié par la probabilité de passage de courants dangereux dans les câbles enterrés:

$$F_{pb} = N_d \times p(\geq I_a) \quad \text{défauts primaires par an} \quad (\text{A.6})$$

où

N_d est le nombre annuel présumé de coups de foudre directs sur le câble (voir 3.8), calculé selon l'équation (A.1);

p est la probabilité pour le courant crête de foudre d'être égal ou plus grand que I_a . La probabilité de distribution de courants de choc dans des structures enterrées et aériennes est indiquée à la figure A.2 et s'exprime par la formule suivante (voir CEI 61312-1):

$$\begin{aligned} p(i) &= 0 & \text{pour } i \leq 0 \\ p(i) &= 10^{-2} \times e^{(a-bi)} & \text{pour } i > 0 \end{aligned} \quad (\text{kA})$$

où

$$a = 4,617 \quad \text{et} \quad b = 0,0117 \quad \text{pour } i < 20 \text{ kA};$$

$$a = 5,075 \quad \text{et} \quad b = 0,0346 \quad \text{pour } i \geq 20 \text{ kA};$$

I_a est le courant de foudre de défaut (voir 3.10), c'est-à-dire le courant entraînant des défauts primaires et dépendant de la conception des câbles (voir 5.1).

La valeur inverse de F_{pb} due à la foudre conduira à connaître le temps moyen en années entre défauts primaires.

A.2 Câbles aériens

Le nombre de coups de foudre directs N_d , pour un câble aérien de longueur L , peut être calculé comme suit:

$$N_d = N_g \times A_e \quad (\text{A.7})$$

$$A_e = 2 \times 10^{-3} \times C_e \times F_d \times H \times L \quad (\text{A.8})$$

où

A_e est la surface effective de capture de foudre;

C_e est le coefficient environnemental;

$$C_e = 0,25 \quad \text{pour une ligne aérienne à proximité de structures (par exemple ligne électrique, arbres) de la même hauteur ou plus grande};$$

$$C_e = 0,5 \quad \text{pour une ligne aérienne à proximité de structures moins élevées};$$

$$C_e = 1 \quad \text{pour une ligne aérienne isolée};$$

$$C_e = 2 \quad \text{pour une ligne aérienne isolée sur le sommet d'une montagne ou d'une butte};$$

$F_d = 3$ est le facteur de diversion de foudre pour les lignes aériennes;

H est la hauteur de la ligne aérienne.

Toutes les autres variables sont telles que définies précédemment.

To estimate the frequency of primary failures, F_{pb} , the stroke incidence shall be multiplied by the probability of the damaging current occurring in buried cables:

$$F_{pb} = N_d \times p(\geq I_a) \quad \text{primary failures/year} \quad (\text{A.6})$$

where

N_d is the expected average annual number of direct lightning flashes to the cable (see 3.8), calculated using equation (A.1);

p is the probability for the lightning peak current to be equal to or higher than the I_a value. The probability distribution of lightning stroke current for both buried and aerial structures is reported in figure A.2 and is expressed by means of the following formula (see IEC 61312-1):

$$\begin{aligned} p(i) &= 0 & \text{for } i \leq 0 \\ p(i) &= 10^{-2} \times e^{(a-bi)} & \text{for } i > 0 \end{aligned} \quad (\text{kA})$$

where

$$\begin{aligned} a &= 4,617 & \text{and } b &= 0,0117 & \text{for } i < 20 \text{ kA;} \\ a &= 5,075 & \text{and } b &= 0,0346 & \text{for } i \geq 20 \text{ kA;} \end{aligned}$$

I_a is the failure current (see 3.10), i.e. the current which causes primary failures and will depend on the cable design (see 5.1).

The inverse of the F_{pb} due to lightning will yield the mean time between primary failure in years.

A.2 Aerial cable

The number of direct lightning flash, N_d , for a length of aerial cable, L , can be calculated as follows:

$$N_d = N_g \times A_e \quad (\text{A.7})$$

$$A_e = 2 \times 10^{-3} \times C_e \times F_d \times H \times L \quad (\text{A.8})$$

where

A_e is the effective lightning collection area;

C_e is the environmental coefficient;

$C_e = 0,25$ for aerial line surrounded by structure (e.g. power lines, trees) of same or greater height;

$C_e = 0,5$ for aerial line surrounded by smaller structures;

$C_e = 1$ for isolated aerial line;

$C_e = 2$ for isolated line on a hilltop or a knoll;

$F_d = 3$ is the stroke diversion factor for aerial lines;

H is the height of the aerial line.

All other variables are as defined previously.

F_{pa} est déterminée en multipliant le nombre de coups de foudre par année N_d , par la probabilité du courant de défaut de foudre I_a des câbles aériens.

$$F_{pa} = N_d \times p(\geq I_a) \quad \text{défauts primaires/an} \quad (\text{A.9})$$

où

p est la probabilité pour le courant crête de foudre d'être égal ou plus grand que I_a . La figure A.2 donne la probabilité de distribution des courants de choc dans des structures aériennes (voir CEI 61312-1);

I_a est le courant de défaut (voir 3.10), c'est-à-dire le courant entraînant des défauts primaires et dépendant de la conception des câbles (voir 5.1).

NOTE – Le facteur de correction de protection K_d n'est pas introduit en raison de l'équation (A.7) qui permet une évaluation sûre du nombre de coups de foudre directs sur un câble aérien.

La valeur inverse de F_{pa} due à la foudre conduira à connaître le temps moyen, en années, entre défauts primaires.

A.3 Câbles pénétrant dans des structures exposées à des coups de foudre directs

Le courant de foudre d'une structure soumise à un coup de foudre direct s'écoule dans la prise de terre de la structure et dans les services pénétrant cette structure. C'est pourquoi une partie du courant de foudre s'écoule dans la connexion du câble et dans l'enveloppe métallique du câble à fibres optiques.

Ce courant peut entraîner des défauts primaires s'il est supérieur au courant d'enveloppe I_s ou au courant de connexion I_c .

Ainsi, la fréquence des dommages F_{ps} est estimée en utilisant l'équation suivante:

$$F_{ps} = N_d \times p(I) \quad (\text{A.10})$$

où

N_d est la fréquence de coups de foudre directs sur la structure exposée et les structures adjacentes et est calculée en utilisant la CEI 61024-1-1;

I est la valeur crête du courant de foudre frappant la structure pouvant entraîner un courant de claquage d'enveloppe métallique I_s ou un courant de connexion I_c dans l'enveloppe métallique du câble ou sa connexion. Ce courant de foudre I est estimé en prenant pour hypothèse que les 50 % du courant de foudre frappant la structure s'écoulent à la terre et les 50 % restants du courant sont partagés entre les divers services qui pénètrent dans la structure;

$p(I)$ est la probabilité de valeur de crête du courant de foudre frappant la structure exposée, évaluée en utilisant la figure A.2.

The F_{pa} is assessed by multiplying the flashes/year, N_d , by the probability of lightning failure current, I_a , to aerial cables:

$$F_{pa} = N_d \times p(\geq I_a) \quad \text{primary failures/year} \quad (\text{A.9})$$

where

p is the probability for the lightning peak current to be equal to or higher than the I_a value. Figure A.2 provides the probability distribution of lightning stroke current to aerial structures (see IEC 61312-1);

I_a is the failure current (see 3.10); i.e. the current which causes primary failures and will depend on the cable design (see 5.1).

NOTE – The protection correction factor K_d is not introduced because the equation (A.7) allows a conservative evaluation of the number of direct strokes to an aerial cable.

The inverse of the F_{pa} due to lightning will yield the mean time between primary failure in years.

A.3 Cables entering a structure exposed to direct lightning strokes

The lightning current of a direct stroke to a structure flows into the earthing system of the structure and into the services entering the structure itself. Therefore a part of the lightning current enters the cable connection and the cable sheath of the optical fibre cable.

This current can cause primary failures when it is higher than the sheath current, I_s , or the connection current, I_c .

Consequently, the frequency of damage, F_{ps} , is estimated by using the following equation:

$$F_{ps} = N_d \times p(I) \quad (\text{A.10})$$

where

N_d is the direct lightning flash frequency to the exposed structure and to adjacent structures and is calculated using IEC 61024-1-1;

I is the peak value of the lightning current striking the structure which causes a sheath breakdown current, I_s , or a connection current, I_c , in the cable sheath or in the cable connection, respectively. This lightning current, I , is estimated assuming that 50 % of the lightning current striking the exposed structure flows into the earthing system of the structure and the remaining 50 % of the current is shared between the different services entering the structure;

$p(I)$ is the probability of the peak value of the lightning current striking the exposed structure, evaluated using figure A.2.

Annexe B (normative)

Courant de claquage d'enveloppe métallique I_s pour des câbles souterrains et aériens

B.1 Câbles souterrains

La valeur du courant de claquage d'enveloppe I_s d'un câble à âme métallique et dont l'enveloppe est métallique avec ou sans revêtement de protection peut être calculée selon l'équation suivante [4]:

$$I_s \equiv U_b / (KR\sqrt{\rho}) \quad (\text{kA}) \quad (\text{B.1})$$

où

$K = 8$ est le facteur de forme d'onde du courant de foudre (onde 10/350 μs) $((\text{m}/\Omega)^{0,5})$;

R est la résistance de l'enveloppe métallique par unité de longueur (Ω/km);

U_b est la tension de claquage (V) du câble à fibres optiques évaluée selon l'essai de G.2;

ρ est la résistivité du sol (Ωm).

B.2 Câbles aériens

Les défauts primaires sur des câbles à fibres optiques aériens peuvent se produire si l'enveloppe du câble est métallique ou si des éléments métalliques sont présents dans l'âme du câble.

Le courant de foudre dans l'enveloppe métallique peut créer un arc entre l'enveloppe et l'âme. L'endommagement des fibres optiques peut avoir lieu à proximité ou sur le passage de l'arc.

La méthodologie donnée ci-dessous suppose que la tension de claquage entre l'âme et l'enveloppe métallique est connue.

B.2.1 Câbles aériens sans mise à la terre de l'enveloppe

Lors d'un impact de foudre sur un câble aérien, un fort pourcentage du courant de foudre J s'écoule à la terre.

L'amplitude du courant de claquage de l'enveloppe, I_s , pour une tension de claquage donnée, est déterminée par l'équation suivante (B.2) [4][6] (en supposant le câble long):

$$I_s \equiv U_b / (250K \times R) \quad (\text{kA}) \quad (\text{B.2})$$

Le courant de foudre J peut être calculé avec l'équation suivante (B.3) [5]:

$$J = 4I_s^2 / k \quad (\text{B.3})$$

où

$$k = \rho E_0 / S^2$$

E_0 est le gradient de la tension de claquage à la surface du sol égal à environ 250 kV/m pour $\rho \leq 100 \Omega\text{m}$ et 500 kV/m pour $\rho \geq 1\,000 \Omega\text{m}$;

S est l'impédance de choc de l'enveloppe métallique.

Annex B (normative)

Sheath breakdown current I_s for both buried and aerial cables

B.1 Buried cables

The sheath breakdown current value, I_s , of a cable with metal elements in the core and with a metal sheath, with or without an insulating protective covering, may be estimated from the following equation (B.1) [4]:

$$I_s \equiv U_b / (KR\sqrt{\rho}) \quad (\text{kA}) \quad (\text{B.1})$$

where

- $K = 8$ is the waveshape factor for lightning current (10/350 μs waveform) $((\text{m}/\Omega)^{0.5})$;
- R is the sheath resistance per unit length (Ω/km);
- U_b is the breakdown voltage (V) of the optical fibre cable evaluated with the test indicated in G.2;
- ρ is the soil resistivity (Ωm).

B.2 Aerial cables

Primary failures in optical fibre cables in aerial routes can occur in cases where metal is present in the sheath and in the core of the cable.

The lightning current in the sheath may cause breakdown between the sheath and the core. Fibre damage is possible if the fibres are near or in the path of the resultant arc.

The methodology given below assumes that the breakdown voltage between the core and the metal sheath is known.

B.2.1 Aerial cable without earth connections of the metal sheath

When lightning strikes an aerial cable, a large percentage of the lightning current, J , arcs to ground.

The sheath breakdown current crest amplitude, I_s , for a given breakdown voltage, is assessed by the following equation (B.2) [4][6] (with the assumption that the cable is long):

$$I_s \equiv U_b / (250K \times R) \quad (\text{kA}) \quad (\text{B.2})$$

The lightning current, J , can be estimated with the following equation (B.3) [5]:

$$J = 4I_s^2 / k \quad (\text{B.3})$$

where

$$k = \rho E_0 / S^2$$

E_0 is the soil surface breakdown voltage gradient and is approximately 250 kV/m for $\rho \leq 100 \Omega\text{m}$ and 500 kV/m for $\rho \geq 1\,000 \Omega\text{m}$;

S is the surge impedance of the sheath.

B.2.2 Câbles aériens avec mise à la terre de l'enveloppe métallique

L'amplitude du courant de claquage de l'enveloppe métallique, I_s , pour une tension de claquage donnée, est déterminée par l'équation suivante (B.4) [4][5]:

$$I_s = U_b / (KR\sqrt{\rho_e}) \quad (\text{B.4})$$

où

ρ_e est la résistivité réelle du sol (Ωm), et toutes les autres variables sont telles que définies précédemment dans l'équation (B.1).

La résistivité réelle peut être calculée comme suit:

$$\rho_e = \pi s R_g / \ln(2H/a) \quad (\text{B.5})$$

où

s est la distance entre électrodes de terre;

H est la hauteur du câble;

a est le rayon du câble;

R_g est la résistance des électrodes de terre.

R_g peut être calculée selon l'équation suivante:

$$R_g = \rho \ln(2y/c) / 2\pi y \quad (\text{B.6})$$

où

y est la longueur de l'électrode de terre;

c est le rayon des électrodes;

ρ est la résistivité du sol.

B.2.2 Aerial cable with earth connections of the metal sheath

The sheath breakdown current crest amplitude, I_s , for a given breakdown voltage, is assessed by the following equation B.4 [4][5]:

$$I_s = U_b / (KR\sqrt{\rho_e}) \quad (\text{B.4})$$

where

ρ_e is the effective earth resistivity (Ωm), and all other variables are as defined previously in (B.1).

The effective earth resistivity can be defined as

$$\rho_e = \pi s R_g / \ln(2H/a) \quad (\text{B.5})$$

where

s is the spacing between grounding rods;

H is the height of the cable;

a is the radius of the cable;

R_g is the resistance of the grounding rods.

R_g can be calculated using the following equation:

$$R_g = \rho \ln(2y/c) / 2\pi y \quad (\text{B.6})$$

where

y is the length of grounding rods;

c is the radius of grounding rods;

ρ is the soil resistivity.

Annexe C (normative)

Valeurs du facteur d'écran

C.1 Définition du facteur d'écran

Le but de la présente annexe est de proposer des formules simples de calcul du facteur d'écran η donné en 7.4.

Conformément à [6], si un coup de foudre direct tombe sur l'âme ou l'enveloppe métallique du câble, la tension entre ces conducteurs est suffisamment élevée pour produire un arc entre âme et enveloppe. Ainsi, ces conducteurs peuvent être considérés comme interconnectés au point d'amorçage et une partie seulement du courant s'écoulera dans l'enveloppe métallique, ce qui réduit la probabilité d'un défaut primaire.

Ainsi, si I_{sh} et I'_{sh} sont respectivement les courants d'enveloppe métallique avec ou sans fil écran, le facteur d'écran η est le suivant:

$$\eta = \frac{I'_{sh}}{I_{sh}} \quad (C.1)$$

C.2 Facteur d'écran avec un fil écran

L'expression est la suivante [3][7]:

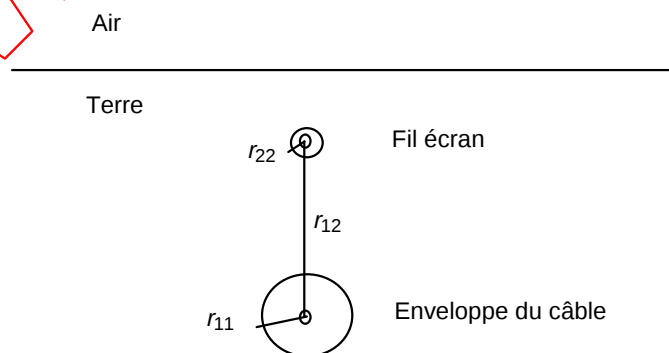
$$\eta = \frac{\log \frac{r_{12}}{r_{22}}}{\log \frac{r_{12}^2}{r_{11} \times r_{22}}} \quad (C.2)$$

où (voir figure C.1)

r_{11} est le rayon moyen de l'enveloppe métallique;

r_{22} est le rayon du fil écran;

r_{12} est la distance entre leurs axes.



IEC 898/99

Figure C.1 – Câble protégé par un fil écran

Annex C (normative)

Shielding factor values

C.1 Definition of the shielding factor

The goal of this annex is to propose simple formulae to enable the estimation of the shielding factor η mentioned in 7.4.

According to [6], when a direct stroke makes contact with the shield wire or a metallic cable sheath, the voltage between these conductors will be large enough to produce an arcing between them; so, they can therefore be considered interconnected at the arcing point and only a part of the lightning current will flow on the cable sheath, thus reducing the probability of a primary failure.

In such a way, if I_{sh} and I'_{sh} are the sheath current without and with shield wire respectively, the shielding factor η is defined as follows:

$$\eta = \frac{I'_{sh}}{I_{sh}} \quad (C.1)$$

C.2 Shielding factor with one shield wire

The expression is the following [3][7]:

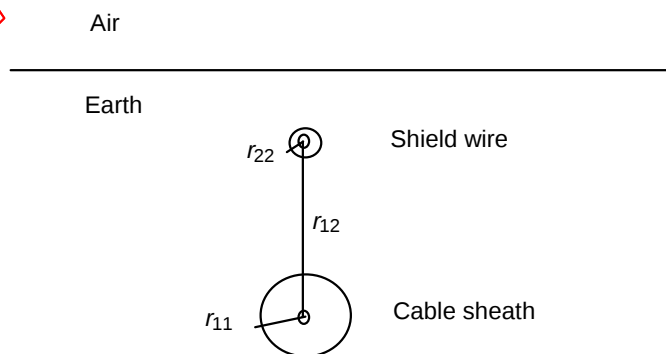
$$\eta = \frac{\log \frac{r_{12}}{r_{22}}}{\log \frac{r_{12}^2}{r_{11} \times r_{22}}} \quad (C.2)$$

where (see figure C.1)

r_{11} is the mean radius of the sheath;

r_{22} is the radius of the shield wire;

r_{12} is the distance between their axes.



IEC 898/99

Figure C.1 – Cable protected with one shield wire

C.3 Facteur d'écran avec deux fils écrans disposés symétriquement par rapport à l'axe du câble

L'expression est la suivante [7]:

$$\eta = \frac{\log \frac{r'_{12}}{r'_{22}}}{\log \frac{r'_{12}}{r'_{11} \times r'_{22}}} \quad r'_{12} > (2 \times r_{11} \times h)^{0,5} = r'_{11} \quad (\text{C.3})$$

où (voir figure C.2)

r'_{12} est la distance entre l'axe du câble et un des fils écrans;

r_{11} est le rayon moyen de l'enveloppe métallique;

$r'_{11} = (2 \times r_{11} \times h)^{0,5}$;

$r'_{22} = (2 \times r_{22} \times h' \times b \times b')^{0,25}$;

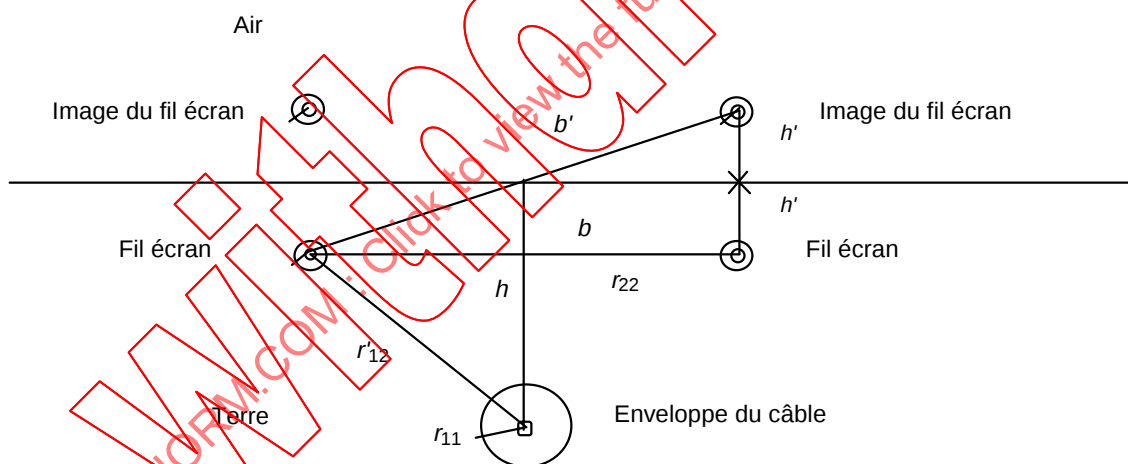
r_{22} est le rayon des fils écrans;

h est la profondeur d'enfouissement du câble;

h' est la profondeur d'enfouissement des fils écrans;

b est la distance entre les fils écrans;

b' est la distance entre un fil écran et l'image de l'autre par rapport à l'interface air-sol.



IEC 899/99

Figure C.2 – Câble protégé par deux fils écrans

C.3 Shielding factor expression with two shield wires symmetrically disposed with respect to the axis of the cable

The expression is the following [7]:

$$\eta = \frac{\log \frac{r'_{12}}{r'_{22}}}{\log \frac{r'_{12}}{r'_{11} \times r'_{22}}} \quad r'_{12} > (2 \times r_{11} \times h)^{0,5} = r'_{11} \quad (\text{C.3})$$

where (see figure C.2)

r'_{12} is the distance between the axis of the cable and one of the shield wires;

r_{11} is the mean radius of the sheath;

$r'_{11} = (2 \times r_{11} \times h)^{0,5}$;

$r'_{22} = (2 \times r_{22} \times h' \times b \times b')^{0,25}$;

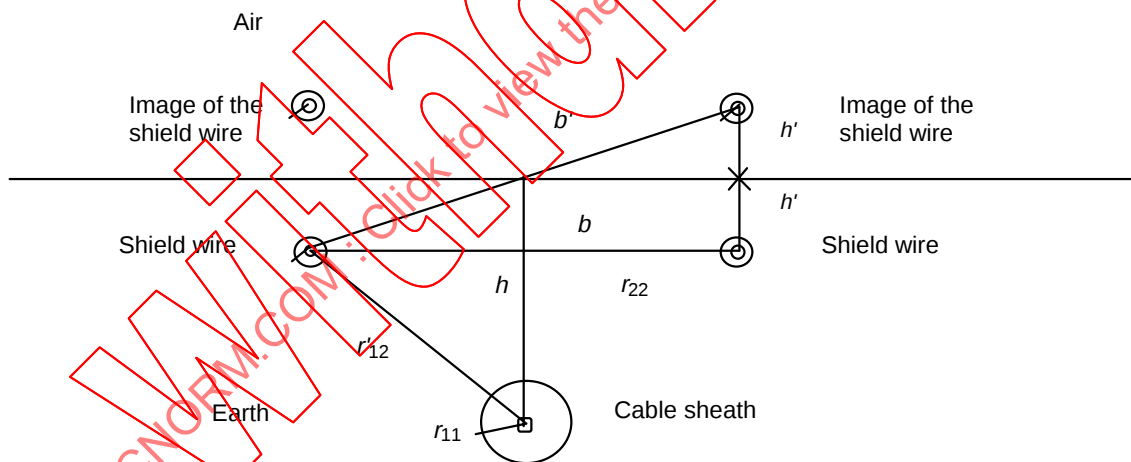
r_{22} is the radius of the shield wire;

h is the buried depth of the cable;

h' is the buried depth of the shield wires;

b is the distance between the shield wires;

b' is the distance between one shield wire and the image of the other one with respect to the air-soil interface.



IEC 899/99

Figure C.2 – Cable protected with two shield wires

C.4 Exemple d'application

Avec les données suivantes relatives au câble:

$$r_{11} = 0,02 \text{ m}$$

$$h = 0,5 \text{ m}$$

et les données suivantes pour le fil écran:

$$r_{22} = 0,004 \text{ m}$$

$$h' = 0,3 \text{ m}$$

$$b = 0,4 \text{ m}$$

on obtient les valeurs suivantes du facteur d'écran, η :

$$\eta = 0,63$$

pour un fil écran,

$$\eta = 0,45$$

pour deux fils écrans.

C.4 Example of application

By considering the following cable data:

$$r_{11} = 0,02 \text{ m}$$

$$h = 0,5 \text{ m}$$

and the following shield wire data:

$$r_{22} = 0,004 \text{ m}$$

$$h' = 0,3 \text{ m}$$

$$b = 0,4 \text{ m}$$

the following values of η are obtained:

$$\eta = 0,63$$

for one shield wire,

$$\eta = 0,45$$

for two shield wires.

Annexe D (normative)

Redondance du cheminement pour câbles souterrains et aériens

La méthode donnée dans cette annexe indique une estimation pour améliorer la tenue à la foudre par la redondance du cheminement pour des câbles souterrains et aériens.

D.1 Câbles souterrains

La condition la plus sévère est celle d'un impact de foudre avec une amplitude élevée de courant se partageant de manière égale, créant des amorçages aux deux extrémités et endommageant les deux câbles. En supposant un partage égal du courant, le courant de foudre $2I_a$ peut endommager les deux câbles, en fonction de l'extension de la zone d'impact. La variable essentielle est la distance de séparation entre les deux câbles. Dans ce qui suit, une méthode est présentée pour améliorer la redondance du cheminement.

Pour des cheminements parallèles enterrés, séparés par une distance X , le F_{pb} de chaque chemin est donné par ce qui suit:

$$N_d = N_g \times (2D - X)L \times 10^{-3} \quad (D.1)$$

$$F_{pb} = N_d \times p(\geq 2I_a) \quad (D.2)$$

Si $X \geq 2D$, les cheminements sont indépendants des dommages consécutifs à un impact et il est recommandé de ne pas utiliser cette méthode. Aussi, étant donné le partage du courant, deux fois la valeur du courant I_a sera nécessaire pour détruire les deux câbles; ce qui justifie le terme $2I_a$ dans l'équation (D.2).

D.2 Câbles aériens

La condition la plus sévère est un impact à énergie élevée avec partage du courant dans les deux câbles.

Pour des câbles aériens parallèles séparés par une distance X , le F_{pa} de chaque câble est calculé comme suit:

La surface effective de l'équation (A.8) devient la suivante:

$$A_e = (2F_d H - X)L \times 10^{-3} \quad \text{pour } 2F_d H > X \quad (D.3)$$

Les équations (A.7) et (D.3) peuvent être utilisées pour le calcul de N_d pour $2F_d H > X$, c'est-à-dire:

$$N_d = N_g (2F_d H - X)L \times 10^{-3} \quad \text{pour } 2F_d H > X \quad (D.4)$$

Si $X > 2F_d H$, les câbles sont indépendants au niveau des dommages sur un impact seul et il est recommandé de ne pas utiliser la méthode décrite ici.

Annex D (normative)

Route redundancy for both buried and aerial cables

The technique given in this annex yields an estimate for the improvement of the lightning resistibility as a result of route redundancy for buried and aerial cables.

D.1 Buried cables

The worst condition is represented by a lightning stroke of high current amplitude which divides equally and arcs to both cables and damages both cables. If equal current division is assumed, stroke current of value $2I_a$ could damage both cables, depending on the extent of overlap in the area susceptible to lightning strike for the cable. The important variable is the separation distance of the two routes. The methodology for assessing the improvement afforded by having route redundancy is given below.

For parallel buried routes separated by a distance, X , the F_{pb} of both routes due to lightning is given by the following:

$$N_d = N_g \times (2D - X)L \times 10^{-3} \quad (D.1)$$

$$F_{pb} = N_d \times p(\geq 2I_a) \quad (D.2)$$

Note that if $X \geq 2D$, then the routes are independent of damage by a single stroke and this method should not be used. Also, it is assumed that due to equal current division, two times the current I_a will be required to cause damage on both routes; hence the term $2I_a$ in equation (D.2).

D.2 Aerial cables

The worst condition is a high energy stroke dividing current equally between both cables.

For parallel aerial routes separated by a distance X , the F_{pa} of both routes due to lightning is calculated as follows:

The effective area in equation (A.8) becomes the following:

$$A_e = (2F_d H - X)L \times 10^{-3} \quad \text{for } 2F_d H > X \quad (D.3)$$

Equations (A.7) and (D.3) can be used to calculate N_d for $2F_d H > X$, that is

$$N_d = N_g (2F_d H - X)L \times 10^{-3} \quad \text{for } 2F_d H > X \quad (D.4)$$

If $X > 2F_d H$, then the routes are independent of damage by a single stroke and the method presented in this paragraph should not be used.

La fréquence de défauts primaires F_{pa} peut être calculée comme suit:

$$F_{pa} = N_d \times p(\geq 2I_a) \quad (D.5)$$

NOTE – En raison de la répartition du courant, deux fois la valeur de I_a sera prescrite pour entraîner des dommages sur les deux cheminements; voir le terme $2I_a$ dans l'équation (D.5).

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61663-1:1999

Withdrawn

The frequency of primary failures F_{pa} can be calculated by using

$$F_{pa} = N_d \times p(\geq 2I_a) \quad (D.5)$$

NOTE – It is assumed that due to equal current division, twice the current, I_a , will be required to cause damage on both routes; hence, the term $2I_a$ in equation (D.5).

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61663-1:1999

Withdrawn

Annexe E (informative)

Facteur de correction de dommage K_d

Le facteur de correction de dommage K_d est introduit dans la présente norme pour permettre une évaluation sûre de la fréquence des défauts primaires F_p , en utilisant un calcul approximatif fondé sur le concept de distance équivalente d'amorçage D .

Conformément à [3], un impact au sol peut provoquer l'amorçage d'un câble enterré à une distance dans le sol $d \leq d(i)$

$$d(i) = k\sqrt{\rho \times i} \quad (\text{m}) \quad (\text{E.1})$$

où

ρ est la résistivité du sol (Ωm);

i est le courant crête de foudre (kA);

k est une constante de valeur

- 0,08 si $\rho \leq 100 \Omega\text{m}$,
- 0,047 si $\rho \geq 1\,000 \Omega\text{m}$.

NOTE – L'équation (E.1) est basée sur l'expérience acquise sur le terrain [3].

La distribution cumulative de courant crête de foudre $P(i)$ et la densité probable de la distribution cumulative du courant crête de foudre $w(i)$ sont données respectivement par ce qui suit:

$$\begin{aligned} P(i) &= 0 && \text{pour } i \leq 0 && (\text{kA}) \\ P(i) &= 10^{-2} \times e^{(a-bi)} && \text{pour } i > 0 && (\text{E.2}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w(i) &= 0 && \text{pour } i \leq 0 && (\text{kA}) \\ w(i) &= 10^{-2} \times c \times e^{(a-bi)} && \text{pour } i > 0 && (\text{E.3}) \end{aligned}$$

où

$$\begin{array}{llll} a = 4,617 & b = 0,0117 & \text{et} & c = 0,012 & \text{pour } i \leq 20 \text{ kA} \\ a = 5,075 & b = 0,0346 & \text{et} & c = 0,035 & \text{pour } i > 20 \text{ kA} \end{array}$$

NOTE – Le courant de foudre i est choisi inférieur ou égal à zéro pour calculer l'intégrale donnée dans l'équation (E.4).

En tenant compte des équations (E.1) et (E.3), la fréquence de défauts primaires, F_p , peut être calculée à partir de l'équation suivante:

$$F_p = 2N_g \times L \times 10^{-3} \times k\sqrt{\rho} \int_0^{\infty} \sqrt{i} \times w(i) \times di \quad (\text{E.4})$$

Toutefois, un calcul simplifié de F_p peut être effectué en introduisant le concept de distance équivalente d'amorçage.

Annex E (informative)

Damage correction factor K_d

The damage correction factor K_d is introduced in this standard to allow a conservative evaluation of the frequency of primary failures, F_p , using an approximated solution based on the concept of the equivalent arcing distance D .

According to [3], a lightning stroke to ground can arc to a buried cable placed at a distance $d \leq d(i)$:

$$d(i) = k\sqrt{\rho \times i} \quad (\text{m}) \quad (\text{E.1})$$

where

ρ is the soil resistivity (Ωm);

i is the lightning peak current value (kA);

k is a constant whose value is

- 0,08 if $\rho \leq 100 \Omega\text{m}$
- 0,047 if $\rho \geq 1\,000 \Omega\text{m}$.

NOTE – Equation (E.1) is based on field experience [3].

The cumulative lightning peak current distribution $P(i)$ and its probability density, $w(i)$, are given by following equations respectively:

$$\begin{aligned} P(i) &= 0 & \text{for } i \leq 0 & \quad (\text{kA}) \\ P(i) &= 10^{-2} \times e^{(a-bi)} & \text{for } i > 0 & \end{aligned} \quad (\text{E.2})$$

$$\begin{aligned} w(i) &= 0 & \text{for } i \leq 0 & \quad (\text{kA}) \\ w(i) &= 10^{-2} \times c \times e^{(a-bi)} & \text{for } i > 0 & \end{aligned} \quad (\text{E.3})$$

where

$$\begin{array}{llll} a = 4,617 & b = 0,0117 & \text{and} & c = 0,012 \quad \text{for } i \leq 20 \text{ kA} \\ a = 5,075 & b = 0,0346 & \text{and} & c = 0,035 \quad \text{for } i > 20 \text{ kA} \end{array}$$

NOTE – The lightning current i is chosen to be less than or equal to zero in order to perform the integral calculation given in equation (E.4).

Taking into account the equations (E.1) and (E.3), the frequency of primary failures, F_p , can be evaluated by the following equation:

$$F_p = 2N_g \times L \times 10^{-3} \times k\sqrt{\rho} \int_0^{\infty} \sqrt{i} \times w(i) \times di \quad (\text{E.4})$$

Nevertheless, a simplified approach for the calculation of F_p can be followed introducing the equivalent arcing distance concept.

La distance équivalente d'amorçage D peut être définie comme la moyenne pondérée de l'équation (E.1) pour tous les courants, la pondération étant obtenue par les équations (E.3):

$$D = \int_0^{\infty} k \sqrt{(\rho \times i) \times w(i) \times di} \quad (\text{E.5})$$

En remplaçant dans l'équation (E.5) les valeurs de b et k , les valeurs numériques suivantes de la distance équivalente d'amorçage, D , sont obtenues à partir de l'équation (E.5):

$$D = 0,482 \sqrt{\rho} \quad (\text{m}); \quad \text{pour } \rho \leq 100 \, \Omega\text{m} \quad (\text{E.6})$$

$$D = 0,283 \sqrt{\rho} \quad (\text{m}); \quad \text{pour } \rho \geq 1\,000 \, \Omega\text{m} \quad (\text{E.7})$$

Un calcul simplifié et approché de F'_p peut être effectué en utilisant la distance équivalente d'amorçage D , comme suit:

$$F'_p = 2N_g \times L \times D \times 10^{-3} \times P(i) \quad (\text{E.8})$$

Le rapport entre F_p et F'_p est une fonction de I_a , toujours supérieur à 1 (sauf pour des valeurs très élevées de courant); sa valeur maximale est proche de 2,5. Cette dernière valeur est définie comme le facteur de correction de dommage K_d :

$$K_d = (F_p/F'_p)_{\text{max}} = \sim 2,5 \quad (\text{E.9})$$

Ainsi, le produit de F'_p par K_d donné dans l'équation (A.6) permet un calcul simplifié, approximatif et sûr de la fréquence des défauts primaires F_p .

The equivalent arcing distance, D , can be defined as the weighted mean of equation (E.1) over all the currents, where the weighting function is given by equations (E.3):

$$D = \int_0^{\infty} k\sqrt{(\rho \times i)} \times w(i) \times di \quad (\text{E.5})$$

Putting into the equation (E.5) the k and b values, the following numerical values for the equivalent arcing distance, D , are obtained from the equation (E.5):

$$D = 0,482\sqrt{\rho} \quad (\text{m}); \quad \text{for } \rho \leq 100 \, \Omega\text{m} \quad (\text{E.6})$$

$$D = 0,283\sqrt{\rho} \quad (\text{m}); \quad \text{for } \rho \geq 1\,000 \, \Omega\text{m} \quad (\text{E.7})$$

A simplified and approximated evaluation of F'_p can be obtained using the equivalent arcing distance, D , as follows:

$$F'_p = 2N_g \times L \times D \times 10^{-3} \times P(i) \quad (\text{E.8})$$

The ratio between F_p and F'_p , function of I_a , is always greater than 1 (except for extremely high current values) and has a maximum value close to 2,5. This last value is defined as the damage correction factor value K_d :

$$K_d = (F_p/F'_p)_{\max} \approx 2,5 \quad (\text{E.9})$$

Then the product between F'_p and K_d , as shown in equation (A.6), allows an approximated, simplified and conservative evaluation of the frequency of primary failures F_p .

Annexe F (informative)

Fréquence tolérable de défauts primaires F_a

Les dommages dus à la foudre sur des installations à fibres optiques peuvent entraîner une perte inacceptable du service à l'utilisateur. Dans ce cas, il convient que la décision de prendre ou non des mesures de protection soit prise en comparant la valeur réelle de la fréquence de défauts primaires F_p sur le câble à fibres optiques avec la valeur limite de la fréquence tolérable de défauts primaires F_a .

F_a peut être calculée avec l'équation suivante (F.1) (voir CEI 61662):

$$F_a = R_a / \delta \quad (\text{F.1})$$

où

R_a est le niveau maximal tolérable de risque de défaut primaire;

$\delta = n' \times t' / n \times 8\,760$ est le nombre de pertes présumées par défaut primaire;

n' est le nombre moyen d'utilisateurs affectés par la perte de services due à un défaut primaire;

t' est le temps, en heures, de perte de services par défaut primaire;

n est le nombre total d'utilisateurs concernés par le service.

Les valeurs représentatives de R_a et de F_a , suggérées dans cette norme, sont les suivantes:

$$F_a = 0,1$$

$$R_a = 10^{-4}$$

Le tableau F.1 indique les temps de perte de service par défaut primaire par les différentes valeurs possible du rapport n'/n , si $\delta = 10^{-3}$.

Tableau F.1 – Temps de perte de service par défaut primaire t'

n'/n	t' (h)
0,1	88
0,2	44
0,3	30
0,4	22
0,5	18
1	9

Annex F (informative)

Tolerable frequency of primary failures F_a

The damage caused by lightning to optical fibre installations may produce unacceptable loss of services to the public. In this case, the decision whether or not to provide protective measures should be taken by a comparison of the actual value of frequency of primary failures, F_p , to the optical fibre installation with the limit value, the tolerable frequency of primary failures, F_a .

The value F_a can be estimated by the following equation (F.1) (see IEC 61662):

$$F_a = R_a / \delta \quad (\text{F.1})$$

where

R_a is the tolerable maximum level of the risk of primary failure;

$\delta = n' \times t' / n \times 8\,760$ is the expected losses per primary failure;

n' is the average number of users effected by the loss of service per primary failure;

t' is the time, in hours, of service loss per primary failure;

n is the total number of users involved in the service.

Representative values of R_a and F_a , suggested by this standard, are

$$F_a = 0,1$$

$$R_a = 10^{-4}$$

Table F.1 shows the time of service loss per primary failure for different possible values of the ratio n'/n , when $\delta = 10^{-3}$.

Table F.1 – Time of service loss, t' , per primary failure

n'/n	t' (h)
0,1	88
0,2	44
0,3	30
0,4	22
0,5	18
1	9

Annexe G (normative)

Essai de tenue aux courants de choc

G.1 Généralités

Les essais indiquées dans cette annexe sont applicables seulement pour l'évaluation du risque associé à la foudre dans les installations à fibres optiques et ne sont pas applicables pour la qualification de la conception du câble. Ils ne doivent pas être répétés à moins que les caractéristiques de construction du câble soient significativement changées.

Sous la responsabilité du constructeur, les résultats des essais obtenus sur un type de câble peuvent être utilisés pour un autre type de câble avec des caractéristiques similaires du point de vue de la construction.

NOTE – Le tableau suivant, donnant des valeurs représentatives des résultats des essais sur différents types de câbles, sera complété lorsque des résultats des essais de laboratoire seront disponibles.

Type du câble	U_b kV	I_b kA
A	—	1)
B	1)	1)
C	1)	80-100
D	1)	1)
1) En attente d'informations.		

G.2 Essai de tension de claquage

Un échantillon de câble de 5 m de longueur doit être utilisé pour l'essai.

Les éléments conducteurs de l'âme du câble doivent être interconnectés de manière à ne constituer qu'une seule borne; une autre borne doit être connectée à l'enveloppe métallique qui est isolée des autres éléments conducteurs. Un générateur de courant de forme d'onde 1,2/50 μ s doit être placé entre les deux bornes.

La tension d'essai est mesurée lors de l'essai.

Suite à l'application de tensions de décharge d'amplitudes ascendantes, cet essai identifie le seuil de la tension de choc entraînant un amorçage.

Annex G (normative)

Tests for surge current resistibility

G.1 General

The tests reported in this annex are convenient only for risk evaluation associated with lightning in fibre optic installations and are not applicable for the qualification of a cable design. They shall not be repeated unless the cable construction characteristics are significantly changed.

Under the cable manufacturer's responsibility, the test results on one type of cable can be used for another cable with similar characteristics from the construction point of view.

NOTE – The following table, giving representative values of test results for different types of cables, will be completed when data from laboratory tests is available.

Type of cable	U_b kV	I_t kA
A	—	1)
B	1)	1)
C	1)	80-100
D	1)	1)
1) Waiting for information.		

G.2 Breakdown voltage test

A cable sample 5 m in length shall be used for the test.

The conducting components inside the cable core shall be electrically connected together to form one terminal; another terminal shall be connected to the metallic sheath isolated from the other conducting elements. A surge voltage generator with a 1,2/50 μ s waveform shall be placed between the two terminals.

The test voltage is measured during the test.

Following the application of discharge voltages in ascending amplitudes, the test identifies a threshold value of surge voltage which causes a breakdown.

G.3 Essai de tenue aux courants de choc des éléments d'interconnexion

Un échantillon de câble de 1 m de longueur doit être utilisé pour l'essai.

Tous les éléments conducteurs d'une extrémité du câble doivent être interconnectés de manière à ne constituer qu'une seule borne; à l'autre extrémité du câble, une autre borne doit être connectée de la même manière. Un générateur de courant doit être placé entre les deux bornes (figure G.1).

Le courant d'essai I_t est le courant de choc I_p et est le seul courant mesuré lors de l'essai.

Les courants de décharge sont appliqués avec des amplitudes croissantes, l'échantillon étant testé jusqu'à la perte de ses performances et/ou jusqu'à la dégradation du câble conformément à 3.1. L'essai détermine une valeur de seuil du courant de choc provoquant des défauts primaires.



Figure G.1 – Schéma pour l'essai de tenue aux courants de choc des éléments d'interconnexion

G.4 Essai du bac à sable pour les câbles enterrés

Un échantillon de câble de 1 m de longueur doit être enfoui dans du sable humide et placé dans une boîte non-conductrice rigide de longueur minimale de 0,75 m dans toutes les dimensions intérieures (figure G.2). La boîte doit comporter au fond deux trous de drainage d'environ 25 mm de diamètre. Le sable doit être un mélange de silice 20-40 et doit être totalement saturé au moins toutes les 8 h et drainé pendant au moins 5 min avant l'essai. L'échantillon doit être placé dans la boîte d'essai et le sable humide doit être tassé sur cet échantillon. L'hygrométrie du bac à sable dans la situation la plus critique est de 15 % en poids.

Une électrode de décharge doit être placée près du centre de la boîte d'essai, à une distance de $26 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ de l'échantillon. Tous les éléments conducteurs du câble doivent être interconnectés pour constituer une seule borne, et un générateur de courant de choc doit être placé entre cette borne et l'électrode de décharge (figure G.2).

G.3 Test for surge current resistibility of the interconnecting elements

A cable sample 1 m in length shall be used for the test.

All conducting components at one end of the cable shall be electrically connected together to form one terminal; at the opposite end of the cable sample, another terminal shall be connected in the same way. A test current generator shall be placed between the two terminals (figure G.1).

The test current, I_t , is the impulse current, I_p , and it is the only current measured during the test.

Following the application of discharge currents in ascending amplitudes, the sample is tested for loss of performance and/or for damage to the cable according to 3.1. The test identifies a threshold value of surge current which causes primary failures.



Figure G.1 Scheme for surge current resistibility test of interconnecting elements

G.4 Sand box test for buried cables

A cable sample 1 m in length shall be immersed in wet sand contained in a non-conducting rigid box having a minimum length of 0,75 m in all inside linear dimensions (figure G.2). The box shall have two holes in the bottom for water drainage, approximately 25 mm in diameter. The sand shall be 20-40 mesh silica sand, and shall be fully saturated for a maximum time interval of 8 h and drained for at least 5 min before the tests. The cable sample shall be placed in the test box and the wet sand tamped around it. The moisture content of the sand in the most critical situation is 15 % by weight.

A discharge electrode shall be located near the centre of the test box, at a distance of $26 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ from the sample. All conducting components in the cable shall be electrically connected together to form one terminal and a test current generator shall be placed between this terminal and the discharge electrode (figure G.2).

Il est essentiel que le courant d'essai s'écoule à travers l'échantillon et, afin de stimuler ce passage, tout revêtement isolant sur une enveloppe métallique extérieure ou sur une barrière contre l'humidité doit être incisé ou percé d'un trou pratiqué avec un outil de 1 mm de diamètre en face de l'électrode de décharge. Si la tension du générateur d'essai ne peut amorcer l'éclateur à air, un fil fin métallique doit relier l'électrode de décharge avec une enveloppe métallique extérieure ou une barrière d'humidité.

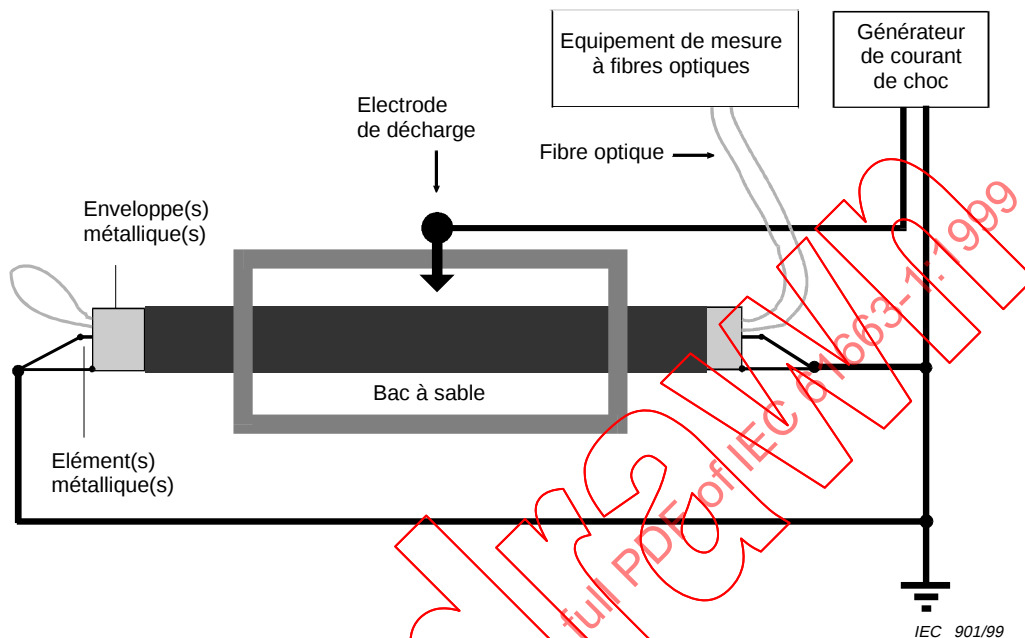


Figure G.2 – Schéma pour l'essai de tenue au courant de chocs

Le courant d'essai doit être le courant de choc I_p et est le seul courant mesuré lors de l'essai.

Les courants de décharge sont appliqués avec des amplitudes croissantes, l'échantillon étant testé jusqu'à la perte de ses performances conformément à 3.1. L'essai détermine une valeur de seuil du courant de choc provoquant des défauts primaires.

G.5 Essai pour les câbles aériens

Un échantillon d'une longueur de 1 m doit être mis en tension conformément aux spécifications du constructeur.

Une électrode de décharge doit être placée à proximité de l'échantillon, à une distance de $26 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$. Tous les éléments conducteurs du câble doivent être interconnectés pour constituer une seule borne, et un générateur de courant de choc doit être placé entre cette borne et l'électrode de décharge.

Il est essentiel que le courant d'essai s'écoule à travers l'échantillon et, afin de stimuler ce passage, tout revêtement isolant sur une enveloppe métallique extérieure ou sur une barrière contre l'humidité doit être incisé ou percé d'un trou pratiqué en face de l'électrode de décharge avec un outil de 1 mm de diamètre. Si la tension du générateur d'essai ne peut amorcer l'éclateur à air, un fil fin métallique doit relier l'électrode de décharge avec une enveloppe métallique extérieure ou une barrière d'humidité.

It is important for the test current to flow through the sample, and to encourage this to occur, any insulating covering over an outer metallic shield or moisture barrier shall be opened with a 1 mm diameter tool producing a small slit or hole facing the discharge electrode. If the voltage of the test generator cannot break down the gap, a thin wire shall connect the discharge electrode with an outer metallic shield or moisture barrier.

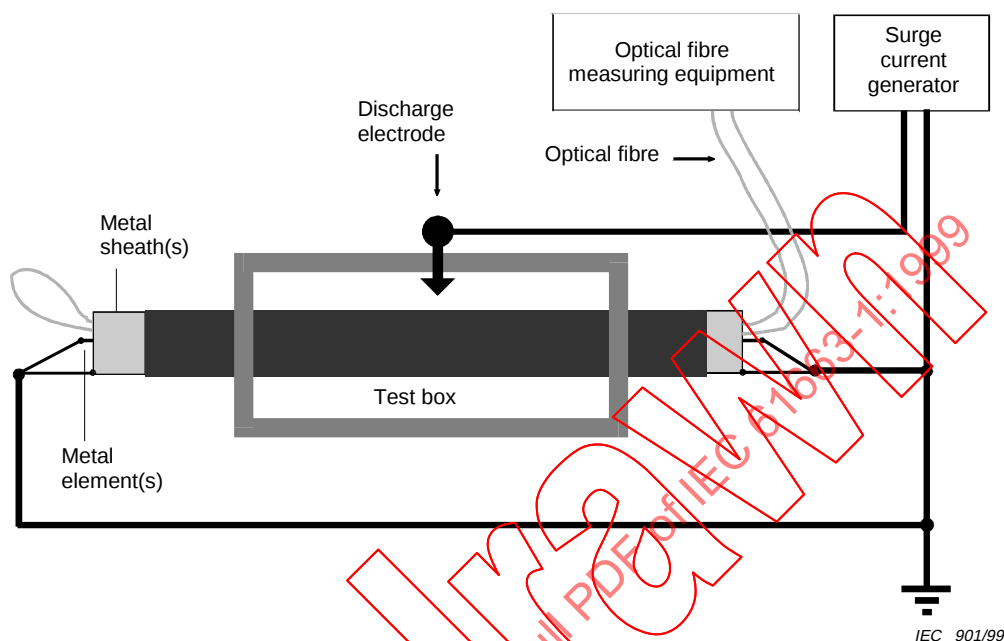


Figure G.2 – Scheme for surge current resistibility test

The test current shall be the impulse current, I_p , and it is the only current measured during the test.

Following the application of discharge currents in ascending amplitudes, the sample is tested for loss of its performance according to 3.1. The test identifies a threshold value of surge current which causes primary failures.

G.5 Test for aerial cables

A cable sample 1 m in length shall be in tension according to the manufacturer's specifications.

A discharge electrode shall be located near the sample at a distance of $26 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$. All conducting components in the cable shall be electrically connected together to form one terminal and a surge current generator shall be placed between this terminal and the discharge electrode.

It is important for the test current to flow through the sample, and to encourage this to occur, any insulating covering over an outer metallic shield or moisture barrier shall be opened with a 1 mm diameter tool producing a small slit or hole facing the discharge electrode. If the voltage of the test generator cannot break down the air-gap, a thin wire shall connect the discharge electrode with an outer metallic shield or moisture barrier.

Le courant d'essai I_t doit être le courant de choc I_p et est le seul courant mesuré lors de l'essai.

Les courants de décharge sont appliqués avec des amplitudes croissantes, l'échantillon étant testé jusqu'à la perte de ses performances conformément à 3.1. L'essai détermine une valeur de seuil du courant de choc provoquant des défauts primaires.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61663-1:1999

Withdrawn