

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC
1200-413**

Première édition
First edition
1996-03

Guide pour les installations électriques –

**Partie 413:
Protection contre les contacts indirects –
Coupeure automatique de l'alimentation**

Electrical installation guide –

**Part 413:
Protection against indirect contact –
Automatic disconnection of supply**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 1200-413: 1996

Numéros des publications

Depuis le 1^{er} janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60 000.

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 (VEI)*.

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 60 000 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.

**RAPPORT
TECHNIQUE – TYPE 3
TECHNICAL
REPORT – TYPE 3**

**CEI
IEC
1200-413**

Première édition
First edition
1996-03

Guide pour les installations électriques –

**Partie 413:
Protection contre les contacts indirects –
Coupeure automatique de l'alimentation**

Electrical installation guide –

**Part 413:
Protection against indirect contact –
Automatic disconnection of supply**

© CEI 1996 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

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

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

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

X

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
Articles	
0 Introduction	8
0.1 Principe de la mesure de protection	8
0.2 Effets du courant électrique sur le corps humain	8
0.3 Impédance électrique du corps humain	14
0.4 Situations	14
0.5 Liaison équipotentielle principale.....	16
1 Domaine d'application.....	20
2 Documents de référence.....	20
3 Application aux différents schémas de liaisons à la terre	22
413.1.3 Schéma TN	22
413.1.3.1 Boucle de défaut	22
413.1.3.3 Tension de contact présumée.....	22
413.1.3.3 Analyse des conditions de protection.....	24
413.1.3.5 Circuits de distribution.....	26
413.1.3 Application pratique des conditions de protection.....	32
413.1.3.5 Cas où un temps de coupure de 5 s est admis	40
413.1.3.7 Limitation de la tension de défaut se fondant sur l'équilibre des tensions.	44
413.1.3.6, 413.1.3.8 et 413.1.3.9 Protection par dispositifs de protection à courant différentiel-résiduel.....	46
413.1.4 Schéma TT.....	50
413.1.4.1 Boucle de défaut	50
413.1.4.2 Analyse des conditions de protection	50
413.1.4.4 Dispositifs de protection	52
413.1.5 Schéma IT.....	54
413.1.5.1, 413.1.5.3 Non-coupure au premier défaut.....	54
413.1.5.3, 413.3.2.2 Différents schémas IT	54
413.1.6 Liaison équipotentielle supplémentaire.....	60
Annexes	
A Protection au deuxième défaut (413.1.5.5, 413.1.5.6).....	62
B Définitions de la tension de contact, de la tension de contact présumée et de la tension de défaut.....	74
C Conditions de protection dans des situations particulières	84
D Influence des courants de défaut sur la résistance des conducteurs	90

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
Clause	
0 Introduction	9
0.1 Principle of the protective measure.....	9
0.2 Effects of electric current on the human body	9
0.3 Electrical impedance of the human body.....	15
0.4 Situations.....	15
0.5 Main equipotential bonding.....	17
1 Scope	21
2 Reference documents	21
3 Application of types of system earthing	23
413.1.3 TN-system	23
413.1.3.1 Fault loop	23
413.1.3.3 Prospective touch voltage	23
413.1.3.3 Analysis of conditions for protection	25
413.1.3.5 Distribution circuits.....	27
413.1.3 Practical application of conditions for protection	33
413.1.3.5 Cases where a disconnection time up to 5 s is permitted	41
413.1.3.6, 413.1.3.8 and 413.1.3.9 Protection by residual current protective devices	47
413.1.3.7 Limitation of fault voltage based on voltage balance	45
413.1.4 TT-system	51
413.1.4.1 Fault loop	51
413.1.4.2 Analysis of conditions of protection	51
413.1.4.4 Protective devices	53
413.1.5 IT-system	55
413.1.5.1, 413.1.5.3 No disconnection for the first fault	55
413.1.5.3, 413.3.2.2 Types of IT systems.....	55
413.1.6 Supplementary equipotential bonding	61
Annexes	
A Protection following a second fault (413.1.5.5, 413.1.5.6)	63
B Definition of touch voltage, prospective touch voltage and fault current	75
C Conditions of protection in particular situations	85
D The influence of fault currents on the resistance of conductors.....	91

GUIDE POUR LES INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES –

Partie 413: Protection contre les contacts indirects – Coupure automatique de l'alimentation

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 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 tâche principale des comités d'études de la CEI est d'élaborer des Normes internationales. Exceptionnellement, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique de l'un des types suivants:

- type 1, lorsque, en dépit de maints efforts, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une Norme internationale;
- type 2, lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique ou lorsque, pour une raison quelconque, la possibilité d'un accord pour la publication d'une Norme internationale peut être envisagée pour l'avenir mais pas dans l'immédiat;
- type 3, lorsqu'un comité d'études a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur l'état de la technique.

Les rapports techniques de types 1 et 2 font l'objet d'un nouvel examen trois ans au plus tard après leur publication afin de décider éventuellement de leur transformation en Normes internationales. Les rapports techniques de type 3 ne doivent pas nécessairement être révisés avant que les données qu'ils contiennent ne soient plus jugées valables ou utiles.

La CEI 1200-41-413, rapport technique du type 3, a été établie par le comité d'études 64 de la CEI: Installations électriques des bâtiments.

ELECTRICAL INSTALLATION GUIDE –

Part 413: Protection against indirect contact – Automatic disconnection of supply

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. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. In exceptional circumstances, a technical committee may propose the publication of a technical report of one of the following types:

- type 1, when the required support cannot be obtained for the publication of an International Standard, despite repeated efforts;
- type 2, when the subject is still under technical development or where for any other reason there is the future but not immediate possibility of an agreement on an International Standard;
- type 3, when a technical committee has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example “state of the art”.

Technical reports of types 1 and 2 are subject to review within three years of publication to decide whether they can be transformed into International Standards. Technical reports of type 3 do not necessarily have to be reviewed until the data they provide are considered to be no longer valid or useful.

IEC 1200-413 which is a technical report of type 3, has been prepared by IEC technical committee 64: Electrical installations of buildings.

Le présent rapport technique n'est pas une partie de la CEI 364. Il constitue un complément à l'article 413.1 de la CEI 364-4-41. Ce rapport est destiné à fournir une explication relative à la révision de l'article 413.1 dans la troisième édition de la CEI 364-4-41 (1992) et de l'article 481.3 de la première édition de la CEI 364-4-481 (1993).

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

Projet de comité	Rapport de vote
64(SEC)726	64/799/RVC

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

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 61200-413:1996

This technical report does not form part of IEC 364. It is a supplement to clause 413.1 of IEC 364-4-41. This report is intended to provide an explanation of the revision of clause 413.1 in the third edition of IEC 364-4-41 (1992) and of clause 481.3 of the first edition of IEC 364-4-481 (1993).

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

Committee draft	Report on voting
64(SEC)726	64/799/RVC

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

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 61200-413:1996

0 Introduction

0.1 Principes de la mesure de protection

La mesure de protection par coupure automatique de l'alimentation qui fait l'objet de l'article 413.1 de la CEI 364-4-41 est destinée à empêcher qu'à la suite d'un défaut dans une installation, une personne puisse être soumise à une tension de contact dangereuse pendant un temps suffisant pour provoquer des dommages corporels.

Pour respecter cette règle, en cas d'un tel défaut, le courant de défaut doit être coupé suffisamment rapidement pour empêcher le maintien de la tension de contact pendant un temps tel qu'elle devienne dangereuse.

Il en résulte que cette mesure de protection repose sur l'association de deux conditions:

- a) la réalisation d'un circuit – dénommé «boucle de défaut» – pour permettre la circulation du courant de défaut. La constitution de cette boucle de défaut dépend du schéma des liaisons à la terre (TN, TT ou IT);
- b) l'interruption du courant de défaut par un dispositif de protection approprié en un temps maximal. Ce temps maximal dépend de paramètres tels que la valeur la plus élevée de la tension de contact*, la probabilité d'un défaut et la probabilité de contact d'une personne avec des matériels en défaut. Des valeurs limites acceptables de tension de contact et de temps de coupure sont fondées sur la connaissance des effets du courant électrique sur le corps humain.

La condition a) implique la mise en oeuvre de conducteurs de protection reliant à la prise de terre les masses de tous les matériels électriques alimentés par l'installation de manière à constituer la boucle de défaut comme il est montré dans les différentes configurations des schémas des liaisons à la terre (figure 3 – TN, figure 14 – TT et figures 15-17 – IT). Les conducteurs de protection doivent être installés de manière sûre et durable selon les prescriptions du chapitre 54 indiquant les sections de ces conducteurs et les conditions à respecter pour assurer la fiabilité de ces liaisons.

La condition b) implique la présence d'un dispositif de coupure automatique dont les caractéristiques sont définies suivant le schéma des liaisons à la terre – TN, TT ou IT.

0.2 Effets du courant électrique sur le corps humain

Les effets du courant électrique sur le corps humain ont fait l'objet de nombreuses études et expériences dont les résultats ont été rassemblés et résumés dans le Rapport CEI 479 dont une première édition a été publiée en 1974 et dont une deuxième édition, tenant compte des connaissances nouvelles dans ce domaine, a été publiée en deux parties, la première en 1984 et la deuxième en 1987. La première partie a fait l'objet d'une troisième édition parue en 1994.

En fait, ce Rapport définit deux éléments:

- l'effet sur le corps humain des courants électriques d'intensités et de durées variables s'écoulant dans le corps humain;
- et
- les impédances électriques du corps humain en fonction de la tension de contact.

Ces deux éléments permettent d'établir la relation qui doit exister entre la tension de contact présumée et sa durée pour qu'il n'en résulte habituellement pas d'effets physiologiques dangereux pour toute personne soumise à cette tension de contact.

* Voir annexe B pour les définitions.

0. Introduction

0.1 Principle of the protective measure

The measure of protection by automatic disconnection of supply which is the subject of clause 413.1 of IEC 364-4-41 is intended to prevent a person being subjected to a dangerous touch voltage for a time sufficient to cause organic damage, in the event of an insulation fault.

In order to meet this requirement, in the event of such a fault the circuit protective device must interrupt the resulting fault current sufficiently quickly to prevent the touch voltage persisting long enough to be dangerous.

It follows that this protective measure relies on the combination of two conditions:

- a) the provision of a conducting path, designated "the fault loop", to provide for circulation of the fault current. The composition of the fault loop depends on the type of system earthing (TN, TT or IT);
- b) the interruption of the fault current within a maximum time by an appropriate protective device. This maximum time is dependent on parameters such as the magnitude of the highest touch voltage*, the probability of a fault, and the probability of a person touching equipment during a fault. Acceptable limits of touch voltage and duration are based on a knowledge of the effects of electric current on the human body.

Condition a) requires the installation of protective conductors connecting all exposed-conductive-parts of the electrical equipment supplied by the installation to an earthing system, thus forming the fault loop as shown for the different types of system earthing in the diagrams (figure 3 – TN, figure 14 – TT and figures 15-17 – IT). The protective conductors must be installed in a sound and reliable manner according to the requirements of Chapter 54 which specifies the cross-sectional areas of such conductors and the conditions to be fulfilled to ensure the reliability of the connections.

Condition b) requires the installation of protective devices the characteristics of which are defined according to the type of system earthing – TN, TT or IT.

0.2 Effects of electric current on the human body

The effects of electric current on the human body have been the subject of numerous studies and experiments, the results of which have been assembled and surveyed in IEC Report 479. A first edition of that Report was published in 1974 and a second edition, taking account of new knowledge in this domain, was published in two parts, the first in 1984, the second in 1987. The first part was published as a third edition in 1994.

In fact, the Report defines two components:

- the effect on the human body of electrical currents of various magnitudes and durations flowing through the body;
- and
- the electrical impedance of the human body as a function of touch voltage.

These two components permit the establishment of a relationship between the prospective touch voltage and its duration, which does not usually result in harmful physiological effects on any person subjected to that touch voltage.

* See annex B for definitions

En courant alternatif (15 Hz à 100 Hz), la courbe déduite de cette relation commence avec les données indiquées en figure 14 du Rapport CEI 479-1, troisième édition, reproduites ici en figure 1. La zone appropriée est la zone AC-3 (entre les courbes b et c_1) à l'intérieur de laquelle ne se produit aucun dommage organique. La probabilité d'effets réversibles jusqu'aux impulsions cardiaques, sans fibrillation ventriculaire, augmente avec le courant et sa durée mais les effets ne se prolongent pas après coupure du courant.

Au-dessus de la courbe c_1 (zone AC-4), le risque d'effets physiologiques dangereux tels que l'arrêt cardiaque, l'arrêt de la respiration et des brûlures profondes s'accroît en fonction du courant et de sa durée jusqu'à une probabilité de 5% sur la ligne c_2 .

Le problème est de définir une relation temps/courant appropriée à la zone AC-3 pouvant servir de fondement pour une proposition de courbe tension/durée à partir de laquelle des limites de tensions de contact et des durées peuvent s'en déduire.

Aucune des frontières de la zone AC-3 ne fournit de solution à ce problème. En tenant compte de la précision de ces données, la relation idéale courant/durée doit comporter une marge de sécurité adéquate entre elle-même et la frontière supérieure. Par ailleurs, l'adoption de la frontière inférieure est considérée comme trop prudente.

Un problème similaire est apparu lorsque les données de l'édition 1 du Rapport CEI 479 ont été utilisées pour l'établissement d'une relation courant/temps. A cette époque, une courbe présentant une certaine marge de sécurité en dessous de la frontière de la zone AC-4 a été approuvée par le CE 64.

En tenant compte de ces données, la courbe désignée par «Lc» dans la figure 1 a été adoptée car elle était conforme à la décision antérieure relative à la marge sous la frontière de la zone AC-4 et reconnue selon les conclusions de la révision de la CEI 479, deuxième édition relatives aux dangers dus aux courants et aux durées à travers le corps humain.

Il est considéré que cette courbe «Lc» est une courbe de référence raisonnable pour la définition des temps de coupure en fonction de la tension de contact présumée (voir courbe L de la figure 2) et pour définir la méthode de protection par coupure automatique de l'alimentation.

For alternating current (15 Hz to 100 Hz) the derivation of such a relationship started with the data provided by figure 14 of IEC Report 479-1, third edition, reproduced here in figure 1. The relevant portion of that figure was zone AC-3 (between lines b and c_1) within which no organic damage was to be expected. The probability of irreversible disturbances to cardiac impulses, without ventricular fibrillation, increases with current and duration, but these effects were not considered to persist generally following the cessation of current.

Above curve c_1 (in zone AC-4) there was the risk of dangerous physiological effects such as cardiac arrest, breathing arrest and heavy burns, the probability of which increased with magnitude of current and time up to about 5 % at line c_2 .

The problem was to define a suitable current-duration relationship within zone AC-3 which would serve as a basis for a proposal for a voltage-duration curve from which practical limits of touch voltage and duration could be derived.

Neither of the boundaries to zone AC-3 provided an acceptable solution to the problem. Bearing in mind the qualifications with regard to accuracy attached to such data, it was clear that the desired current-duration relationship must incorporate a suitable margin of safety between itself and the upper boundary. On the other hand, the adoption of the lower boundary was considered to be over-cautious.

A similar problem arose when the data given in edition 1 of Report 479 was used to derive a current-duration relationship. At that time a curve was approved by TC 64 which had a certain margin of safety below the boundary of zone AC-4.

With these points in mind the curve marked "Lc" in figure 1 was adopted because it was consistent with the former decision on the size of the margin below the boundary with zone AC-4, and at the same time recognised the revised conclusions in the second edition of IEC 479 on the degree of danger arising from currents of various durations through the human body.

It was considered that curve "Lc" (a function of disconnection time and current) was a reasonable basis for the establishment of disconnection times as a function of prospective touch voltage (see curve L of figure 2), to be used with the method of protection by automatic disconnection of supply.

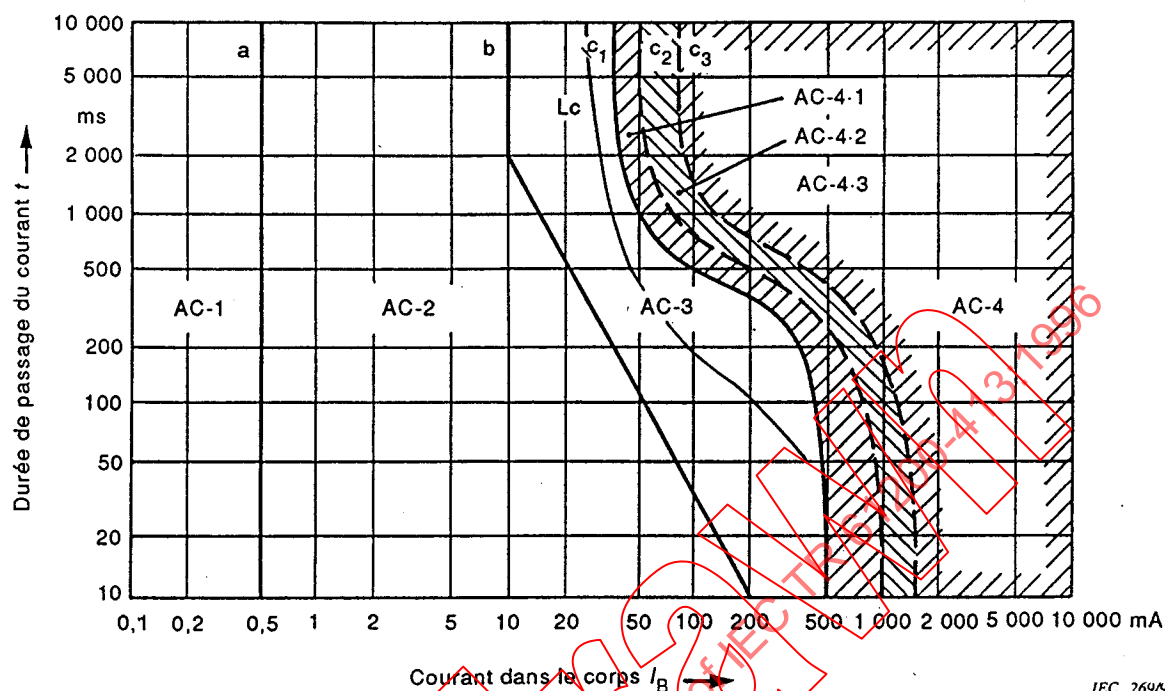


Figure 1 – Zones temps/courant des effets du courant alternatif (15-100 Hz) sur des personnes
(dédites de la figure 14, CEI 479-1, troisième édition)

Désignation de la zone	Limites de la zone	Effets physiologiques
AC-1	Sous la ligne a	Habituellement, aucune réaction
AC-2	Entre la ligne a et la courbe b	Habituellement, aucun effet physiologique
AC-3	Entre les courbes b et c ₁	Habituellement, aucun dommage organique. Probabilité de contractions musculaires et de difficultés de respiration, perturbations réversibles dans la formation et la propagation d'impulsions cardiaques, y compris la fibrillation auriculaire et des arrêts temporaires du coeur sans fibrillation ventriculaire augmentant avec l'intensité du courant et le temps.
AC-4	Au-dessus de c ₁	En plus des effets de la zone AC-3, la probabilité de fibrillation ventriculaire augmente jusqu'à environ 5% courbe c ₂ jusqu'à environ 50 % à la courbe c ₃ et plus de 50% au-delà de la courbe c ₃ . Des effets pathophysiologiques tels qu'arrêt du coeur, arrêt de la respiration et brûlures graves peuvent se produire avec l'augmentation de l'intensité et du temps.

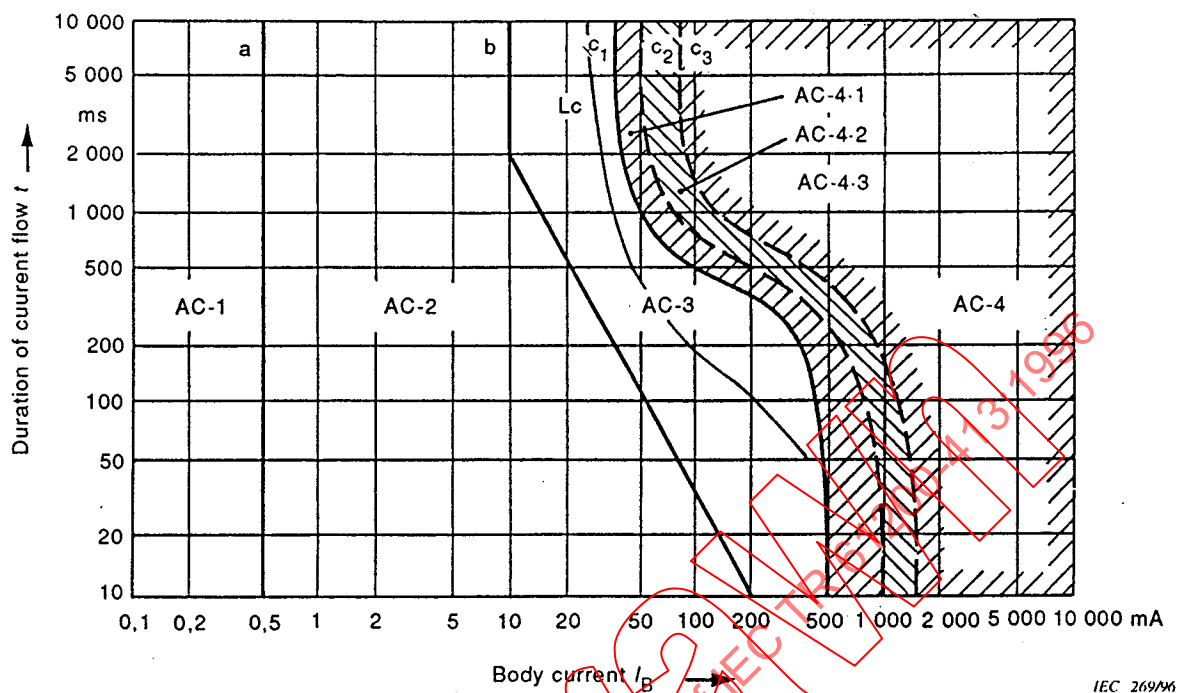


Figure 1 – Time/current zones of effects of alternating current (15 Hz to 100 Hz) on persons
(derived from figure 14, IEC 479-1, third edition)

Zone designation	Zone limits	Physiological effects
AC-1	Below line a	Usually no reaction effects
AC-2	Between line a and curve b	Usually no harmful physiological effects
AC-3	Between curves b and c_1	Usually no organic damage to be expected. Likelihood of muscular contractions and difficulty in breathing, reversible disturbances of formation and conduction of impulses in the heart, including atrial fibrillation and transient cardiac arrest without ventricular fibrillation increasing with current magnitude and time.
AC-4	Above curve c_1	In addition to the effects of Zone AC-3, probability of ventricular fibrillation increasing from about 5 % at curve c_2 up to about 50 % at curve c_3 and above 50 % beyond curve c_3 . Increasing with current magnitude and time, pathophysiological effects such as cardiac arrest, breathing arrest and heavy burns may occur.

0.3 Impédance électrique du corps humain

En ce qui concerne l'impédance électrique du corps humain à prendre en considération pour la détermination de la tension de contact, celle-ci dépend de deux facteurs:

- le trajet le plus probable du courant de défaut dans le corps de la personne;
- les conditions d'environnement, notamment la présence d'eau et le contact des personnes avec la terre.

Les impédances électriques des diverses parties du corps humain, par exemple de main à main, de main à pied, sont indiquées dans la CEI 479, deuxième édition. Les valeurs sont fonction des tensions appliquées. L'état de la peau est responsable, en grande partie, de cette impédance. Afin que les valeurs limites de tension de contact déduites des valeurs d'impédance du corps humain soient sûres, les valeurs choisies dans la CEI 479-1 (tableau 1) sont les impédances les plus faibles pour lesquelles 95% des personnes présentent des impédances plus élevées.

Le trajet du courant entre deux mains et les deux pieds est tel que ce trajet présente la plus faible résistance et implique d'autant plus les muscles du cœur.

0.4 Situations

Tenant compte des conditions se rencontrant dans la pratique, la situation normale correspond aux caractéristiques suivantes:

- locaux (ou emplacements) secs ou humides;
- sol présentant une résistance élevée.

NOTE – Pour des situations particulières, voir annexe C.

Les conditions de protection dans la situation normale ont été établies en tenant compte d'une impédance électrique Z :

$$Z = 1000 + 0,5 Z_{T5} \% \text{ (en ohms)} \quad (1)$$

La valeur de 1000 Ω a été choisie pour tenir compte de la présence de chaussures et de la résistance du sol et constitue un compromis. Les essais et mesures en locaux secs donnent, en pratique, une vaste gamme de valeurs, les résistances des pieds et du sol étant au minimum de 1000 Ω . Il a été considéré que l'adoption d'une telle valeur fournit une marge complémentaire de sécurité. Il a été reconnu que lorsque les conditions d'environnement ne sont pas favorables, telles que des conditions mouillées, une valeur plus faible de l'impédance pouvait être choisie, voir annexe C.

$Z_{T5} \%$ est la valeur définie dans le Rapport CEI 479-1, pour laquelle 5% des personnes présente une impédance plus faible (valeurs les plus faibles du tableau).

La valeur de $Z_{T5} \%$ est fondée sur l'hypothèse que la résistance du corps humain dépendante de la valeur présumée de la tension de contact (U_c)*. La tension de contact est la tension pouvant être appliquée au corps humain sans écoulement de courant de choc. En réalité, le corps est susceptible de présenter une tension plus faible (U_c) pendant le passage du courant de sorte que cette hypothèse implique une marge de sécurité supplémentaire dans la détermination de la valeur de la tension de contact.

* Voir annexe B pour les définitions.

0.3 *Electrical impedance of the human body*

With regard to the electrical impedance of the human body to be considered for the determination of touch voltage, two aspects are relevant:

- the most probable path of the fault current in the body of a person;
- the environmental conditions, principally in regard to the presence of water and the contact of persons with earth.

The electrical impedance paths in different parts of the human body, i.e. hand to hand, hand to foot, were reported in IEC 479, second edition. The values were dependent on the applied voltage. The condition of the skin was responsible for a large proportion of the impedance. In order that touch voltage limits derived from body impedance should be on the safe side, the lowest impedance values given in IEC 479-1 (table I) which are exceeded by 95 % of the population, were chosen.

A current path from two hands to both feet was assumed, this being the path which has the least resistance and involves the heart muscles to the greatest extent.

0.4 *Situations*

Taking account of conditions encountered in practice, the normal situation was identified having the following general characteristics:

- dry or moist locations (or places);
- floor presenting significant resistance.

NOTE – For particular situations, see annex C.

Conditions for protection in normal situations were established taking into account the electrical impedance Z :

$$Z = 1000 + 0,5 Z_{T5\%} \text{ (in ohms)} \quad (1)$$

The value of 1000 Ω was chosen as a contingency to cover both the presence of footwear and floor resistance and was a compromise. Experience and measurement for dry locations showed practical values over a very wide range; typical footwear and floor surfaces having values of at least 1000 Ω . It was considered that the adoption of such a value provided a substantial additional margin of safety. It was recognised that where environmental conditions are very unfavourable, such as exposure to wet conditions, a lower value of impedance should be used, see annex C.

$Z_{T5\%}$ is the value of total body impedance stated in IEC Report 479-1, table I that is not exceeded by 5 % of the population (the lowest figures tabulated).

The value of $Z_{T5\%}$ was based on the assumption that the body resistance is dependent on the prospective value of the touch voltage (U_t)*. The touch voltage is the potential which could be applied to the body if there were no shock current flowing. In fact the body is likely to experience a rather lower voltage (U_c) during the current flow, so that such an assumption implied a further margin of safety in the derived value of touch voltage.

* See annex B for definitions.

Le coefficient 0,5 tient compte du double contact deux mains/deux pieds, les valeurs d'impédances du Rapport CEI 479-1, deuxième édition étant données pour un contact une main/un pied.

En utilisant les données de la manière exposée ci-dessus, la relation prescrite entre la tension de contact et le temps de coupure en situation normale est illustrée en figure 2, comme indiqué dans le tableau A.

Des valeurs spécifiques de la tension de contact présumée U_t sont données dans le tableau A en fonction de:

- l'impédance électrique Z déterminée comme indiqué précédemment;
- l'intensité I du courant électrique traversant le corps humain;
- le temps de coupure t déterminé par la courbe Lc de la figure 1.

Tableau A – Relation entre la tension de contact présumée et le temps de coupure maximal

Tension de contact présumée U_t V	Z Ω	I mA	t s
≤50	1725	29	∞
75	1625	46	0,60
100	1600	62	0,40
125	1562	80	0,33
220	1500	147	0,18
300	1460	205	0,12
400	1425	280	0,07
500	1400	350	0,04

La valeur de 50 V est définie comme la tension limite conventionnelle (U_L)

Le chapitre 41 (article 413.1) traite du cas général correspondant à la situation normale pour laquelle la tension limite conventionnelle de contact est de 50 V en courant alternatif et de 120 V en courant continu lisse. Pour les autres situations, voir annexe C.

0.5 Liaison équipotentielle principale

Afin d'éviter la propagation de potentiels par les canalisations métalliques et analogues provenant de l'extérieur du bâtiment, le paragraphe 413.1.2.1 impose la réalisation d'une liaison équipotentielle principale reliant tous les éléments conducteurs à leur pénétration dans le bâtiment et le conducteur principal de protection.

La liaison équipotentielle principale permet aussi de réduire la tension de contact en cas de défaut dans l'installation électrique concernée, quel que soit le schéma des liaisons à la terre.

The coefficient 0,5 in equation (1) takes account of the double contact two hands to two feet, as given in figure 2 of IEC Report 479-1, second edition, being given for contact between one hand and one foot.

Using the IEC data in the manner explained above, the required relationship between prospective touch voltage and disconnection time for the normal situation was derived as shown in table A and is illustrated in figure 2.

Specific values given in table A as a function of prospective touch voltage U_t are:

- the electrical impedance Z determined as previously indicated;
- the current I passing through the human body;
- the disconnection time t determined from the curve L_c of figure 1.

Table A – The relationship between prospective touch voltage and maximum disconnection time

Prospective touch voltage U_t V	Z Ω	I mA	t s
≤50	1725	29	∞
75	1625	46	0,60
100	1600	62	0,40
125	1562	80	0,33
220	1500	147	0,18
300	1460	205	0,12
400	1425	280	0,07
500	1400	350	0,04

The value of 50 V is defined as the conventional touch voltage limit (U_L).

Chapter 41 (clause 413.1) deals with the general case corresponding to the normal situation for which the conventional touch voltage limit is AC 50 V or DC 120 V ripple-free. For other conditions see annex C.

0.5 Main equipotential bonding

In order to avoid the transmission of potentials by metallic wiring systems and by other services coming from outside the building, sub-clause 413.1.2.1 requires the provision of main equipotential bonding connecting all extraneous-conductive-parts at their entry into the building to the main protective conductor.

The main equipotential bonding reduces the prospective touch voltage in case of a fault in the corresponding electrical installation, whatever the type of system earthing.

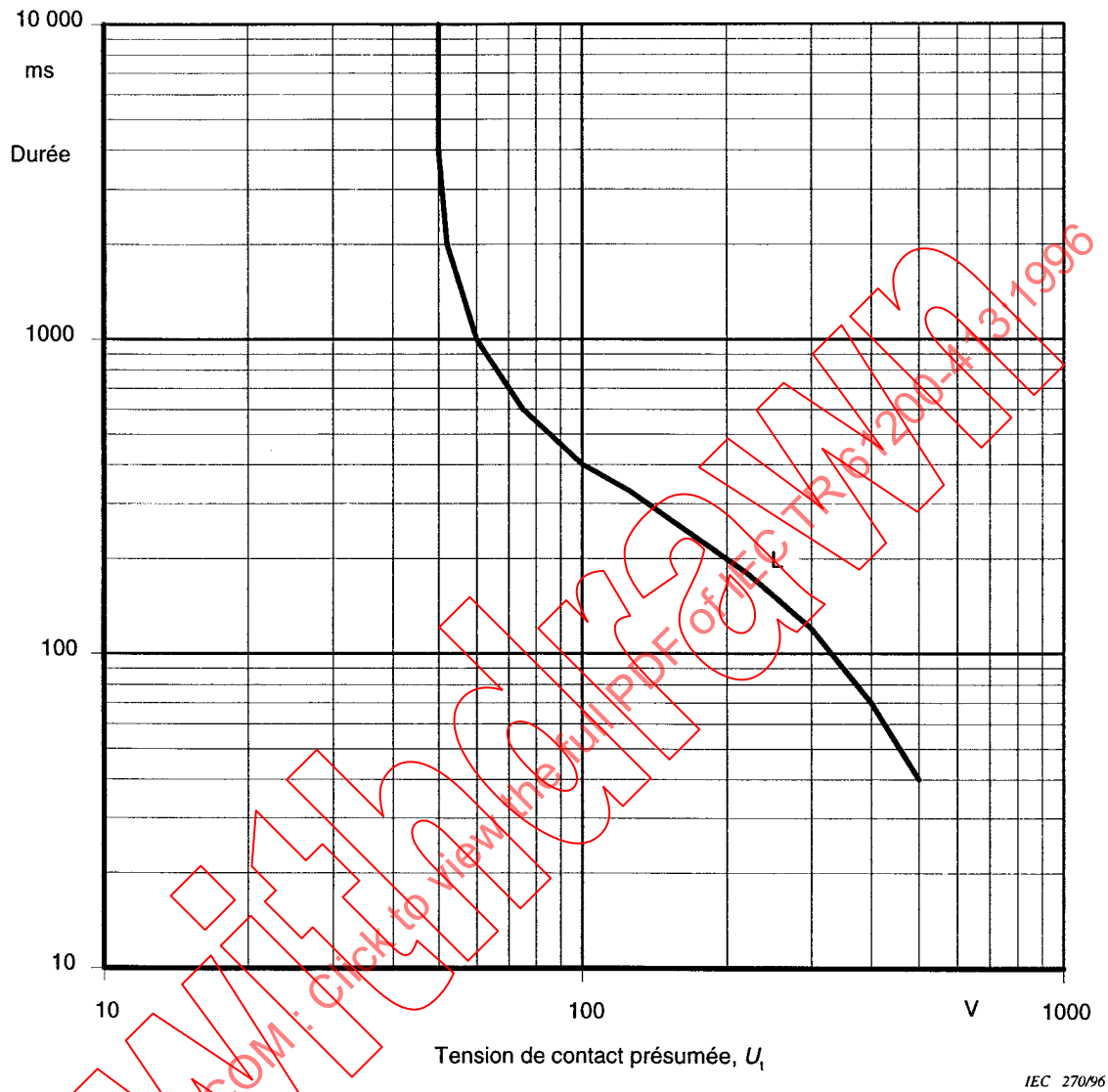
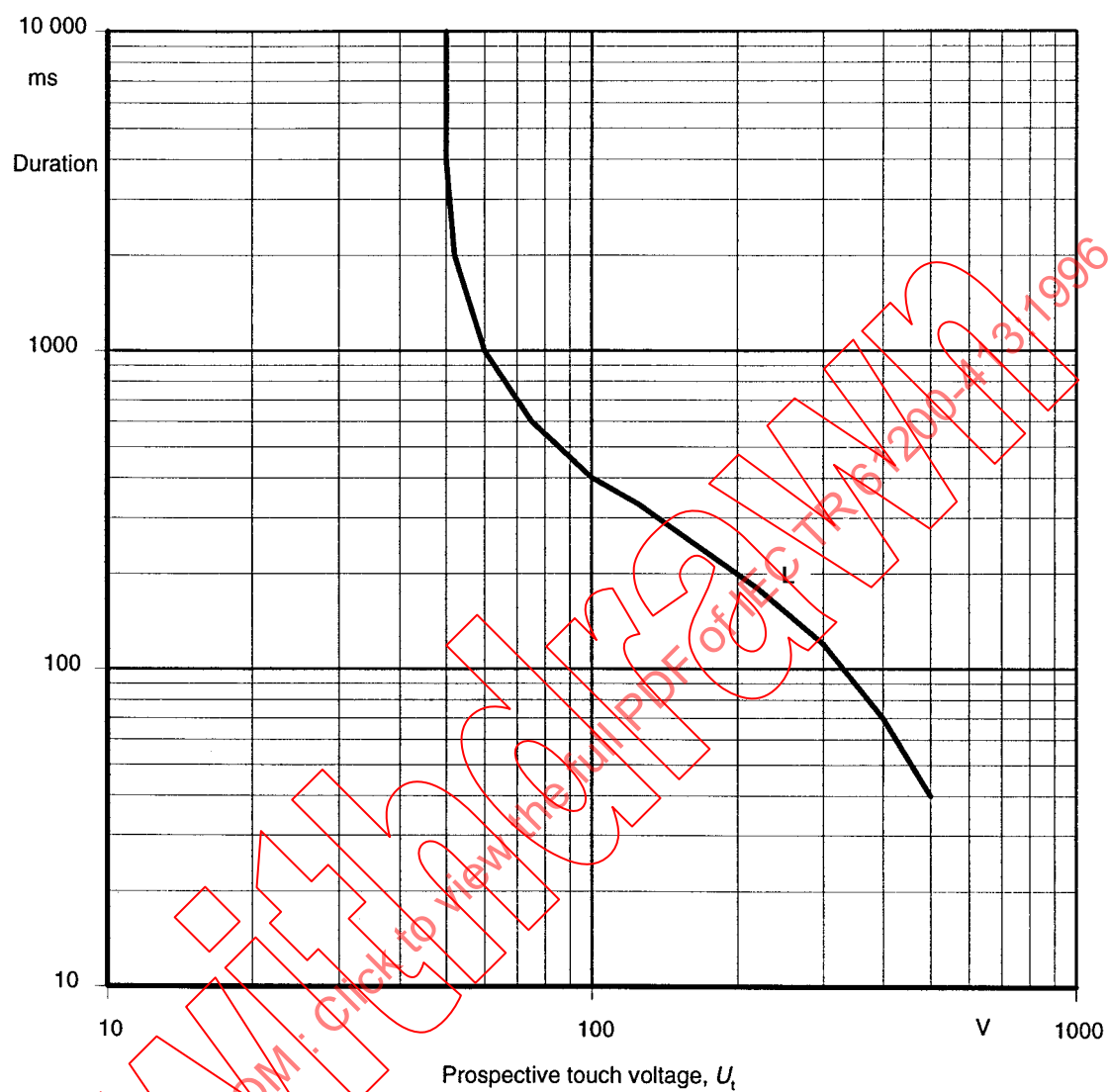


Figure 2 – Durée maximale de la tension de contact présumée U_t , dans des conditions normales



IEC 270/96

Figure 2 – Maximum duration of prospective touch voltage U_t , for normal situations

GUIDE POUR LES INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES –

Partie 413: Protection contre les contacts indirects – Coupure automatique de l'alimentation

1 Domaine d'application

La CEI 1200-413 est un rapport technique qui s'applique aux installations électriques. Ce rapport constitue une compilation de commentaires et d'explications accompagnés d'exemples et de schémas électriques en vue de faciliter l'utilisation de la CEI 364-4-41.

2 Documents de référence

CEI 38: 1983, *Tensions normales de la CEI*

CEI 50(826): 1982, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 826: Installations électriques des bâtiments*

CEI 364-4-473: 1977, *Installations électriques des bâtiments – Quatrième partie: Protection pour assurer la sécurité – Chapitre 47: Application des mesures de protection pour assurer la sécurité – Section 473: Mesures de protection contre les intensités*

CEI 364-4-481: 1993, *Installations électriques des bâtiments – Partie 4: Protection pour assurer la sécurité – Chapitre 48: Choix des mesures de protection en fonction des influences externes – Section 481: Choix des mesures de protection contre les chocs électriques en fonction des influences externes*

CEI 364-7-701: 1984, *Installations électriques des bâtiments – Septième partie: Règles pour les installations et emplacements spéciaux – Section 701: Locaux contenant une baignoire ou une douche*

CEI 364-7-702: 1983, *Installations électriques des bâtiments – Septième partie: Règles pour les installations et emplacements spéciaux – Section 702: Piscines*

CEI 364-7-704: 1989, *Installations électriques des bâtiments – Septième partie: Règles pour les installations et emplacements spéciaux – Section 704: Installations de chantiers*

CEI 364-7-705: 1984, *Installations électriques des bâtiments – Septième partie: Règles pour les installations et emplacements spéciaux – Section 705: Installations électriques dans les établissements agricoles et horticoles*

CEI 479-1: 1984, *Effets du courant passant par le corps humain – Première partie – Deuxième édition*

CEI 479-1: 1994, *Effets du courant sur l'homme et les animaux domestiques – Partie 1: Aspects généraux – Troisième édition*

CEI 479-2: 1987, *Effets du courant passant par le corps humain – Deuxième partie: Aspects particuliers – Chapitre 4: Effets du courant alternatif de fréquence supérieure à 100 Hz – Chapitre 5: Effets des courants de formes d'onde spéciales – Chapitre 6: Effets des courants d'impulsion unique de courte durée*

CEI 755: 1983, *Règles générales pour les dispositifs de protection à courant différentiel résiduel*

ELECTRICAL INSTALLATION GUIDE –

Part 413: Protection against indirect contact – Automatic disconnection of supply

1 Scope

IEC 1200-413 is a technical report applicable to electrical installations. It contains a compilation of comments, explanations, examples and electrical systems in order to facilitate the use of IEC 364-4-41.

2 Reference documents

IEC 38: 1983, *IEC standard voltages*

IEC 50(826): 1982, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 826: Electrical installations of buildings*

IEC 364-4-473: 1977, *Electrical installations of buildings – Part 4: Protection for safety – Chapter 47: Application of protective measures for safety – Section 473: Measures of protection against overcurrent*

IEC 364-4-481: 1993, *Electrical installations of buildings – Part 4: Protection for safety – Chapter 48: Choice of protective measures as a function of external influences – Section 481: Selection of measures for protection against electric shock in relation to external influences*

IEC 364-7-701: 1984, *Electrical installations of buildings – Part 7: Requirements for special installations or locations – Section 701: Locations containing a bath tub or shower basin*

IEC 364-7-702: 1983, *Electrical installations of buildings – Part 7: Requirements for special installations or locations – Section 702: Swimming pools*

IEC 364-7-704: 1989, *Electrical installations of buildings – Part 7: Requirements for special installations or locations – Section 704: Construction and demolition site installations*

IEC 364-7-705: 1984, *Electrical installations of buildings – Part 7: Requirements for special installations or locations – Section 705: Electrical installations of agricultural and horticultural premises*

IEC 479-1: 1984, *Effects of current passing through the human body – Part 1: General aspects – Second edition*

IEC 479-1: 1994, *Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General aspects – Third edition*

IEC 479-2: 1987, *Effects of current passing through the human body – Part 2: Special aspects – Chapter 4: Effects of alternating current with frequencies above 100 Hz – Chapter 5: Effects of special waveforms of current – Chapter 6: Effects of unidirectional single impulse currents of short duration*

IEC 755: 1983, *General requirements for residual current operated protective devices*

CEI 898: 1987, *Disjoncteurs pour installations domestiques et analogues pour la protection contre les surintensités*

CEI 947-2: 1989, *Appareillage à basse tension – Deuxième partie: Disjoncteurs*

CEI 1008: *Interrupteurs automatiques à courant différentiel résiduel pour usages domestiques et analogues sans dispositif de protection contre les surintensités incorporé (ID)*

CEI 1009: *Interrupteurs automatiques à courant différentiel résiduel avec protection contre les surintensités incorporée pour installations domestiques et analogues (DD)*

3 Application aux différents schémas de liaisons à la terre

Les paragraphes suivants contiennent des explications ou des commentaires relatifs à certains articles ou paragraphes de la CEI 364-4-41. Ils portent le numéro des articles ou des paragraphes de la CEI 364-4-41 et de la CEI 364-4-473 auxquels ils se rapportent.

413.1.3 Schéma TN

413.1.3.1 Boucle de défaut

En schéma TN, la boucle de défaut comprend l'impédance de la source et le circuit constitué, comme le montre la figure 3, le conducteur actif sur lequel se produit le défaut et le conducteur de protection relié directement au neutre de la source (conducteur PE ou PEN selon le schéma TN-S ou TN-C).

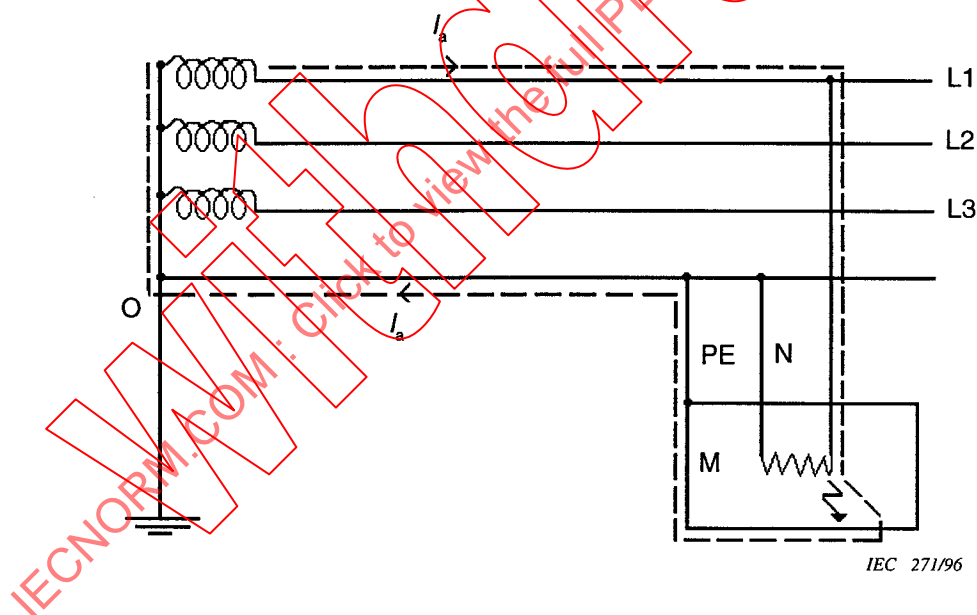


Figure 3 – Diagramme simplifié du schéma TN-C-S montrant le principe de la protection

En cas de défaut entre un conducteur de phase et une masse M, un courant de défaut circule dans la boucle de défaut. *

413.1.3.3 Tension de contact présumée

La tension de contact présumée U_t est celle qui apparaît entre la masse M et le point O. Elle est égale à:

$$U_t = I_a Z_{PE} \quad (2)$$

* Voir annexe B, figure B.3 et les définitions des diverses tensions

IEC 898: 1987, *Circuit-breakers for overcurrent protection for household and similar installations*

IEC 947-2: 1989, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 2: Circuit-breakers*

IEC 1008, *Residual current operated circuit-breakers without integral overcurrent protection for household and similar uses (RCCBs)*

IEC 1009, *Residual current operated circuit-breakers with integral overcurrent protection for household and similar uses (RCBOs)*

3 Application of types of system earthing

The following subclauses contain explanations and comments on clauses or subclauses of IEC 364-4-41. These have been numbered according to the relevant clauses or subclauses of IEC 364-4-41 and IEC 364-4-473.

413.1.3 TN System

413.1.3.1 Fault loop

In a TN system, the fault loop comprises the circuit which includes, as shown in figure 3, the live conductor on which the fault occurs and the protective conductor directly connected to the neutral of the source (PE or PEN conductor according to whether it is a TN-S or TN-C system).

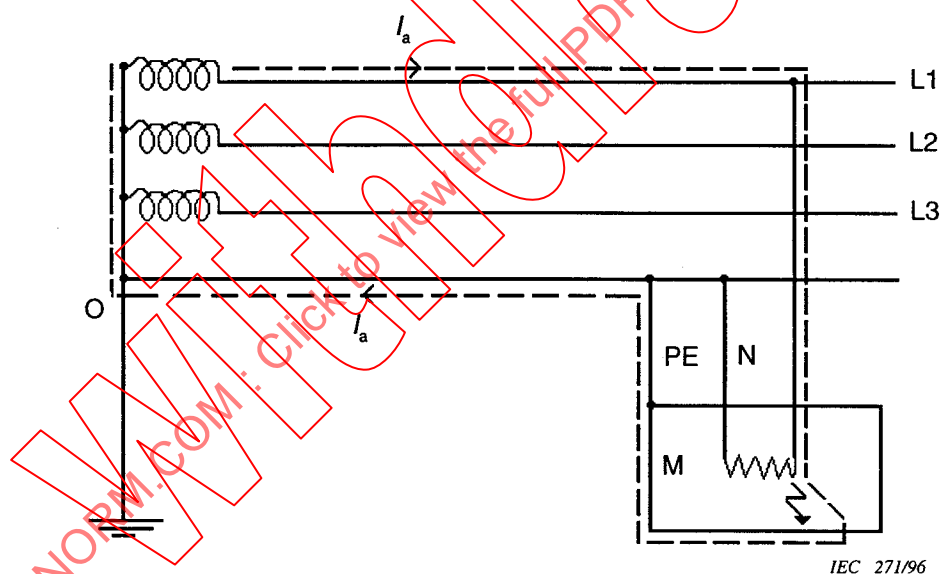


Figure 3 – Simplified diagram of a TN-C-S system showing the principle of protection

In case of fault between a phase and an exposed-conductive-part M, a fault current I_a circulates in the fault loop.*

413.1.3.3 Prospective touch voltage

The prospective touch voltage U_t is that which appears between the exposed-conductive-part M and the point O. It is:

$$U_t = I_a Z_{PE} \quad (2)$$

* See annex B, figure B.3 and the definitions of the various voltages.

où

Z_{PE} est la somme des impédances des conducteurs de protection entre la masse M et le point O;

I_a est le courant de défaut circulant dans le conducteur de protection entre M et O.

Dans les installations alimentées directement par un réseau de distribution publique, la valeur de l'impédance de la boucle de défaut de la distribution extérieure à l'installation doit être fournie par le distributeur.

Pour les installations alimentées par une source autre que le réseau public, les valeurs de l'impédance de la boucle de défaut comprennent celles du transformateur ou de l'alternateur (par exemple réactance homopolaire d'un transformateur ou subtransitoire d'un alternateur) et peuvent être très différentes de celles du réseau public.

413.1.3.3 Analyse des conditions de protection

En principe, la tension de contact est égale à:

$$U_t = U_o \cdot \frac{\sqrt{R_{PE}'^2 + X_{PE}'^2}}{\sqrt{(R_o + R_L + R_{PE})^2 + (X_o + X_L + X_{PE})^2}} \quad (3)$$

où

U_o est la tension entre phase et neutre;

R_o, X_o est la résistance et réactance internes de la source;

R_L, X_L est la résistance et la réactance du conducteur de phase depuis la source jusqu'à la masse considérée; *

R_{PE}', X_{PE}' est la somme des résistances et somme des réactances du conducteur de protection depuis la liaison équipotentielle principale jusqu'à la masse considérée; *

R_{PE}, X_{PE} est la somme des résistances et somme des réactances du conducteur de protection entre les masses et la source;

X_L et X_{PE} ont été séparés ici pour montrer la répartition des tensions le long de la boucle de défaut. En pratique, ces réactances ne peuvent être mesurées séparément.

En pratique, particulièrement pour des faibles sections, la tension de contact présumée est déduite de la formule simplifiée:

$$U_t = U_o R_{PE} / Z_S \quad (4)$$

où

U_o est la tension entre phase et neutre de l'installation;

R_{PE} est la résistance du conducteur de protection entre la masse considérée et le point de référence B (voir figure 4);

Z_S impédance de la boucle de défaut comprenant la source, le conducteur actif siège du défaut et le conducteur de protection entre la masse du matériel en défaut et la source ($Z_S = Z_o + Z_L + Z_{PE}$).

NOTE – Des indications plus précises sont données dans la CEI 909.

* Voir annexe D

where

Z_{PE} is the sum of the impedance of the protective conductors between the exposed-conductive-part M and the point O;

I_a is the fault current flowing in the protective conductors between M and O.

For installations supplied directly from a public distribution system, the value of the impedance of that part of the fault loop which is external to the installation is obtained from the supplier.

For installations supplied from a source other than a public distribution system, the fault loop impedance value will include the transformer or alternator characteristics (e.g. zero sequence of a transformer or sub-transient for an alternator) and might differ greatly from that of a public supply.

413.1.3.3 Analysis of conditions for protection

In principle, the prospective touch voltage is:

$$U_t = U_o \cdot \frac{\sqrt{R_{PE}'^2 + X_{PE}'^2}}{\sqrt{(R_o + R_L + R_{PE})^2 + (X_o + X_L + X_{PE})^2}} \quad (3)$$

where

U_o is the voltage between phase and neutral;

R_o, X_o is the internal resistance and the internal reactance respectively of the source;

R_L, X_L is the resistance and the reactance respectively of the phase conductor from the source to the exposed-conductive-parts considered;*

R_{PE}', X_{PE}' is the resistance and the reactances respectively of the protective conductor from the main equipotential bonding to the exposed-conductive-part considered;*

R_{PE}, X_{PE} is the resistance and the reactance respectively of the protective conductor from the exposed-conductive-part to the source.

X_L and X_{PE} have been separated here in order to demonstrate the division of voltage around the fault loop. In practice they cannot be separately measured.

In practice, particularly for cross-sectional area less than 35 mm², the prospective touch voltage is deduced from the simplified formula:

$$U_t = U_o R_{PE} / Z_S \quad (4)$$

where

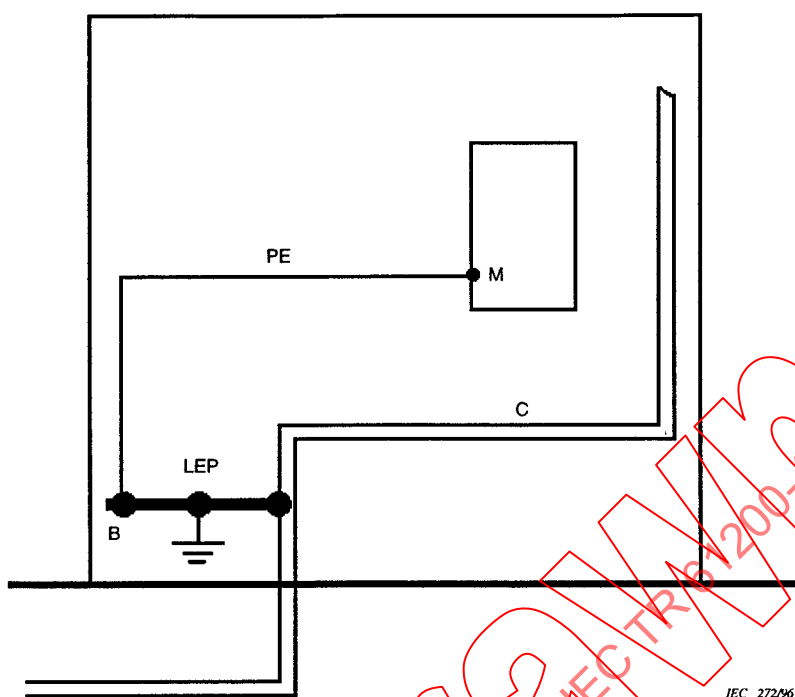
U_o is the voltage between phase and neutral of the installation;

R_{PE} is the resistance of the protective conductor between the exposed-conductive-part considered and the reference point B (see figure 4);

Z_S is the impedance of the fault loop comprising the source, the live conductor on which the fault occurs, and the protective conductor between the exposed-conductive-part of the faulty equipment and the source ($Z_S = Z_o + Z_L + Z_{PE}$).

NOTE – A more detailed treatment is given in IEC 909.

* See annex D.



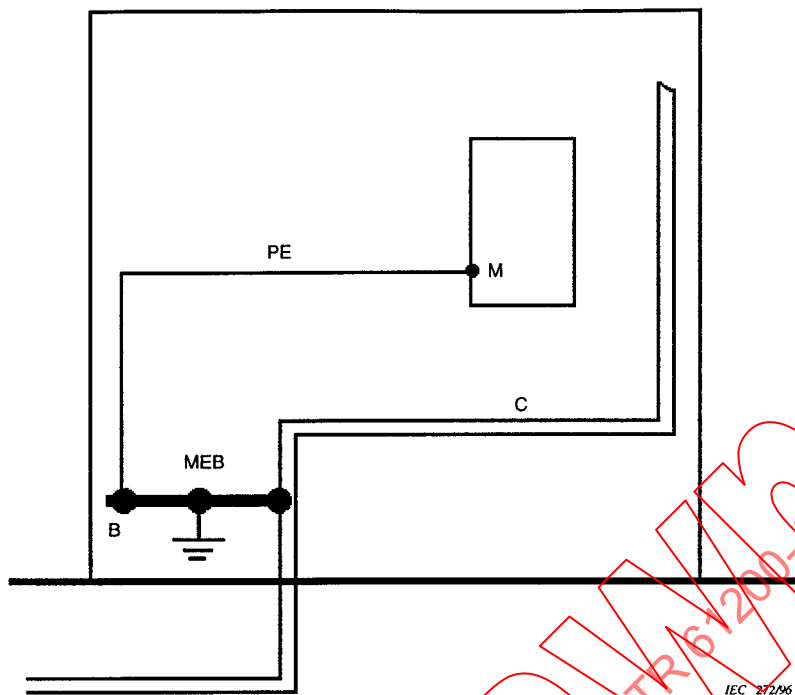
Le point de référence est sur la liaison équipotentielle principale
 B Point de référence
 LEP Liaison équipotentielle principale
 C Élément conducteur
 PE Conducteur de protection
 M Masse

Figure 4 – Installation sans circuit de distribution

413.1.3.5 Circuits de distribution

Des mesures complémentaires doivent être prises sur les tableaux de distribution lorsque les circuits terminaux nécessitant des temps de coupure de 0,4 s et de 5 s coexistent.

A la figure 4, la tension de contact présumée est égale à la chute de tension dans le conducteur de protection, entre les points M et B, due au courant de défaut I_a . Il est supposé que le potentiel de tout élément conducteur accessible et celui de toute masse pouvant être simultanément touchée sont les mêmes que le potentiel du point de référence B.



Reference point is at the MEB

B Reference point

MEB Main equipotential bonding

C Extraneous-conductive-part

PE Protective conductor

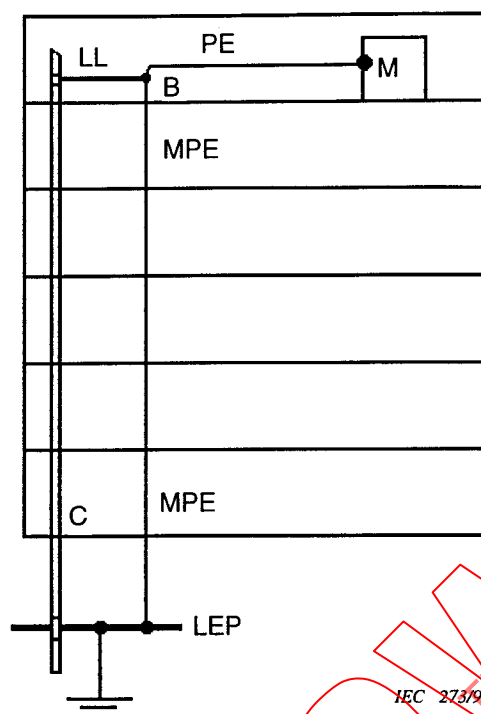
M Exposed-conductive-part

Figure 4 – Installation without a distribution circuit

413.1.3.5 Distribution circuits

Additional precautions need to be taken at distribution boards when there are both final circuits requiring disconnection in say 0,4 s and some within 5 s.

In figure 4 the prospective touch voltage is equal to the voltage drop along the protective conductor, between points M and B, due to the fault current I_a . It is assumed that the potential of any extraneous-conductive-part which might be touched simultaneously with the exposed-conductive-part are substantially the same as that of the reference point B.



- B Point de référence
- C Elément conducteur
- LL Liaison équipotentielle locale
- LEP Liaison équipotentielle principale
- M Masse
- MPE Conducteur principal de protection
- PE Conducteur de protection

Figure 5 – Installation d'un circuit de distribution, par exemple pour un ensemble d'appartements avec liaison fournissant un point de référence local B

En pratique, la tension de contact présumée est égale à la chute de tension dans le conducteur entre M et B due au courant de défaut I_a .

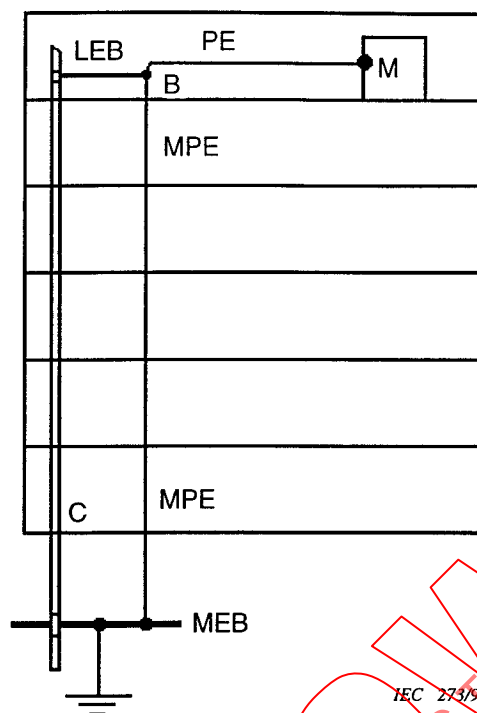
Si la chute de tension dans le conducteur de protection est trop élevée, un point de référence peut être obtenu par installation d'une liaison équipotentielle locale entre un point d'un élément conducteur plus proche de la masse M que de la liaison équipotentielle principale et un point approprié (tel que dans une armoire de distribution) du conducteur de protection du circuit des masses, voir figure 5.

Une telle liaison équipotentielle est réalisée dans des conditions analogues à celles d'une liaison équipotentielle principale (voir 413.1.2.1).

La liaison équipotentielle locale n'est pas nécessaire si la valeur de la résistance du conducteur de protection entre la masse et la liaison équipotentielle principale n'est pas supérieure à

$$Z_s \cdot \frac{50}{U_0}$$

Cette condition est rencontrée fréquemment dans les situations normales, ainsi la liaison équipotentielle locale est rarement nécessaire.



- B Reference point
 C Extraneous-conductive-part
 LEB Local equipotential bonding
 MEB Main equipotential bonding
 M Exposed-conductive-part
 MPE Main protective conductor
 PE Protective conductor

Figure 5 – Installation with a distribution circuit where the bonding provides a local reference point B, for example to a block of flats

In practice the prospective touch voltage is equal to the voltage drop in the conductor between M and B due to the fault current I_a .

In the event that the voltage drop along the protective conductor is too high, the prospective touch voltage may be reduced by installing local equipotential bonding between a point on the extraneous-conductive-part which is closer to the exposed-conductive-part M than the main equipotential bonding and a convenient point (such as a distribution board) on the protective conductor of the circuit supplying the exposed-conductive-part, see figure 5.

Such equipotential bonding is made under conditions similar to those specified for the main equipotential bonding (see 413.1.2.1).

The local equipotential bonding is not necessary if the resistance of the protective conductor between the exposed-conductive-part and the main equipotential bonding does not exceed

$$Z_s \leq \frac{50}{U_0}$$

This condition is frequently met in normal situations, so local equipotential bonding is rarely necessary.

Le dispositif de protection est choisi de telle manière que:

$$I_a = \frac{U_o}{Z_s} \quad (5)$$

assure son fonctionnement en un temps t au plus égal à celui du tableau 41A du paragraphe 413.1.3.3.

Cela implique le calcul de l'impédance de la boucle de défaut sous condition de connaître tous les éléments de la boucle, y compris la source.

Z_s peut être calculée si les conducteurs actifs et de protection sont à proximité immédiate sans interposition d'éléments ferromagnétiques, ou peut être déterminée par mesure.

Pour des conducteurs de section inférieure ou égale à 35 mm², la réactance peut être généralement négligée si les conducteurs de phase et de protection sont disposés à proximité immédiate. Dans ces conditions, le courant I_a est:

$$I_a = \frac{U_o}{R'_L + R'_{PE}} \quad (6)$$

où

R'_L est la résistance du conducteur actif entre le point de référence B et la masse;

R'_{PE} est la résistance du conducteur de protection entre le point de référence B et la masse.

La tension de contact présumée est alors:

$$U_t = R'_{PE} I_a = c U_o \frac{m}{1+m} \quad (7)$$

où

m est le rapport entre les résistances du conducteur de protection et du conducteur de phase du circuit considéré. Si les conducteurs sont de même matériau, m est égal au rapport entre la section du conducteur de phase et la section du conducteur de protection du circuit considéré:

$$m = \frac{R_{PE}}{R_L} = \frac{S_L}{S_{PE}}$$

c est le facteur conventionnel tenant compte de l'impédance de la partie de la boucle de défaut située en amont de la source de l'installation

En l'absence d'informations précises, le facteur c peut être pris égal à 0,8.

Si le conducteur de protection et le conducteur de phase ont la même section,

$$U_t = \frac{c U_o}{2} \quad (\text{voir équation 7})$$

Compte tenu de cette formule, la tension de contact présumée et le temps de coupure peuvent être déterminés en fonction de la tension nominale de l'installation, en tenant compte des paramètres c et m .

The protective device is selected so that the fault current

$$I_a = \frac{U_o}{Z_S} \quad (5)$$

ensures its operation in a time t not greater than that in table 41A of sub-clause 413.1.3.3.

This necessitates the calculation of the fault loop impedance which is possible only if all elements of the loop, including the source are known.

Z_S may be calculated if live and protective conductors are in immediate proximity without the intervention of ferromagnetic parts, or may be determined by measurement.

Reactance may generally be ignored for conductors of cross-sectional area of 35 mm² or less where the conductors and the protective conductor are in immediate proximity. Under these conditions the current I_a may be calculated by

$$I_a = \frac{U_o}{R'_L + R'_{PE}} \quad (6)$$

where

R'_L is the resistance of the live conductor from the reference point B to the exposed-conductive-part;

R'_{PE} is the resistance of the protective conductor from the reference point B to exposed-conductive-part.

The prospective touch voltage U_t is taken as:

$$U_t = R'_{PE} I_a = c U_o \frac{m}{1+m} \quad (7)$$

where

m is the ratio of the resistance of the protective conductor and of the phase conductor in the circuit considered. If the conductors are of the same material, it is taken as equivalent to the ratio of the reciprocal cross-sectional areas:

$$m = \frac{R_{PE}}{R_L} = \frac{S_L}{S_{PE}}$$

c is a conventional factor taking account of the impedance of the part of the loop on the supply side of the main or local bonding as appropriate. In the absence of precise information, the factor c may be taken as 0,8.

If the protective conductor and the phase conductor have the same cross-sectional area,

$$U_t = \frac{c U_o}{2} \quad (\text{see equation 7})$$

From this formula the prospective touch voltage and disconnection times may be determined as a function of the nominal voltage of the installation, taking into account the parameters c and m .

413.1.3 Application pratique des conditions de protection

L'expérience a montré qu'il est souvent difficile d'estimer de façon correcte la tension de contact présumée.

La référence à la tension de défaut serait trop sévère dans l'utilisation de dispositifs de protection contre les surintensités; c'est pourquoi il est nécessaire de faire certaines hypothèses dans l'estimation de la tension de contact présumée. Cette estimation se fonde notamment sur la valeur du coefficient c dont la valeur exacte dépend de la configuration du réseau d'alimentation.

De plus, il n'est pas certain que l'élévation du potentiel des masses des circuits terminaux ne dépassera pas les valeurs de la courbe L en cas de défaut dans d'autres circuits terminaux ou dans des circuits de distribution (voir figure 2).

Ainsi, pour faciliter l'établissement des conditions d'application des règles de protection, les temps de coupure maximaux ont été déterminés non pas en fonction de la tension de contact présumée mais en fonction de la tension nominale de l'installation, en tenant compte de la relation (7) indiquée précédemment entre les deux tensions.

Une étude a donc été réalisée sur l'influence des variations des différents paramètres sur la valeur de la tension de contact présumée et sur le temps de coupure.

Ces paramètres sont les suivants:

- le facteur c peut varier selon la situation du circuit considéré entre 0,6 (circuit très éloigné de la source) et 1 (circuit issu directement de la source);
- le rapport m varie selon le rapport des sections du conducteur de protection et du conducteur de phase dans le circuit considéré. Pour des câbles ou des conducteurs isolés, ce rapport peut varier entre 1 et 3;
- la tension d'alimentation U_0 , conformément aux recommandations de la CEI 38 peut varier de $\pm 10\%$.

Les calculs montrent que, pour une valeur donnée de la tension U_0 , la tension de contact présumée U_t varie selon les valeurs des paramètres c et m entre $0,3 U_0$ et $0,75 U_0$.

Par exemple, pour une tension nominale de 230 V, la tension de contact présumée varie entre 69 V et 172 V et le courant correspondant à travers le corps humain varie entre 42 mA et 119 mA selon les courbes Lc de la figure 1 et L de la figure 2, le temps de coupure doit être compris entre 0,25 s et 0,8 s.

Le tableau 41A de la CEI 364-4-41 fixe un temps de 0,4 s. Ce temps correspond à une valeur moyenne du coefficient c de 0,8 et à un rapport m égal à 1, valeurs qui se présentent généralement dans les circuits terminaux. Ce temps, déterminé par l'expérience de nombreuses années dans de nombreux pays est considéré comme fournissant une protection satisfaisante contre les chocs électriques.

La tension de contact présumée (voir formule 7) est égal à:

$$U_t = 0,8 \frac{230}{2} = 92 \text{ V} \quad (8)$$

correspondant d'après la courbe L de la figure 2 à 0,4 s.

413.1.3 *Practical application of conditions for protection*

Experience has shown that it was often difficult to estimate the prospective touch voltages correctly.

The use of the fault voltage as a reference was found to be too onerous in the utilisation of overcurrent protective devices and for this reason it was necessary to make various hypotheses in estimating the prospective touch voltage. This estimate was based in particular on the value of the coefficient c , the exact value of which depends on the configuration of the supply network.

Further, it was not possible to be certain that the rise in the potential of the exposed-conductive-parts of final circuits would not exceed values of the curve L in the case of a fault in other final circuits or in distribution circuits (see figure 2).

Thus, in order to establish conditions for the application of the rules for protection, maximum disconnection times have been determined not as a function of prospective touch voltage but of the nominal voltage of the installation, taking account of the preceding relationship (6) between the two voltages.

Therefore a study has been made of the influence of variations in the different parameters on the value of the prospective touch voltage and the corresponding disconnection time.

These parameters are as follows:

- the factor c which, depending on the situation of the circuit considered, may vary between 0,6 (e.g. a circuit very far from the source) and 1 (e.g. a circuit supplied directly from the source);
- the ratio m which will vary according to the ratio of the may vary cross-sectional areas of the protective conductor and of the phase conductor in the circuit considered. For cables or insulated conductors the ratio m may vary between 1 and 3;
- the supply voltage U_0 which in conformity with the recommendations of IEC 38 may vary $\pm 10\%$.

Calculations show that, for a given value of the voltage U_0 , the prospective touch voltage U_t varies in relation to the values of the two parameters c and m , between $0,3 U_0$ and $0,75 U_0$.

For example, for a nominal voltage of 230 V, the prospective touch voltage varies between 69 V and 172 V and the resulting current through the human body varies between 42 mA and 119 mA. According to the curves Lc of figure 1 and L of figure 2, the disconnection time shall be between 0,25 s and 0,8 s.

Table 41A of IEC 364-4-41 specifies a single time of 0,4 s. This time corresponds to a mean value of the factor c of 0,8 and a ratio m of 1, values which exist in general in final circuits. This time is confirmed by long experience in many countries as providing satisfactory protection against electric shock.

The prospective touch voltage using formula (7) is:

$$U_t = 0,8 \frac{230}{2} = 92 \text{ V} \quad (8)$$

approximating to a time of 0,4 s according to the curve L of figure 2.

La relation courant/temps est donnée par la ligne AB de la figure 6 selon les valeurs réelles du facteur c et du rapport m , pour une tension assignée $U_0 = 230$ V.

De plus, en fonction de la valeur réelle de la tension U_0 :

- la ligne A'B' correspond à la valeur minimale de la tension, soit $0,9 U_0$;
- la ligne A''B'' correspond à la valeur maximale de la tension, soit $1,1 U_0$.

Le point correspondant au temps de coupure en fonction de la tension de contact se situe à l'intérieur de la zone hachurée. Il apparaît que les conditions de coupure se situent dans tous les cas dans la zone 3 et au-dessous de la courbe c_1 .

Cependant, pour satisfaire à la présente norme, une valeur unique du temps de coupure est choisie pour chaque tension nominale, indépendamment des valeurs du facteur c et du rapport m .

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 61200-413:1996
 Withdrawn

The current/time relationship given by the line AB on figure 6, depends upon the actual values of the factor c and the ratio m , at the rated voltage $U_0 = 230$ V.

Furthermore as a function of the actual value of the voltage U_0 :

- the line A'B' corresponds to the minimum value of voltage, or $0,9 U_0$;
- the line A''B'' corresponds to the maximum voltage, or $1,1 U_0$.

The point corresponding to the disconnection time as a function of touch voltage is situated within the hatched zone. It is apparent that the conditions of disconnection are found in every case in Zone AC-3 and below the curve c_1 .

However for the purpose of the standard, a specific value of the disconnection time was chosen for each nominal voltage, independent of the values of factor c and of ratio m .

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 61200-413:1996

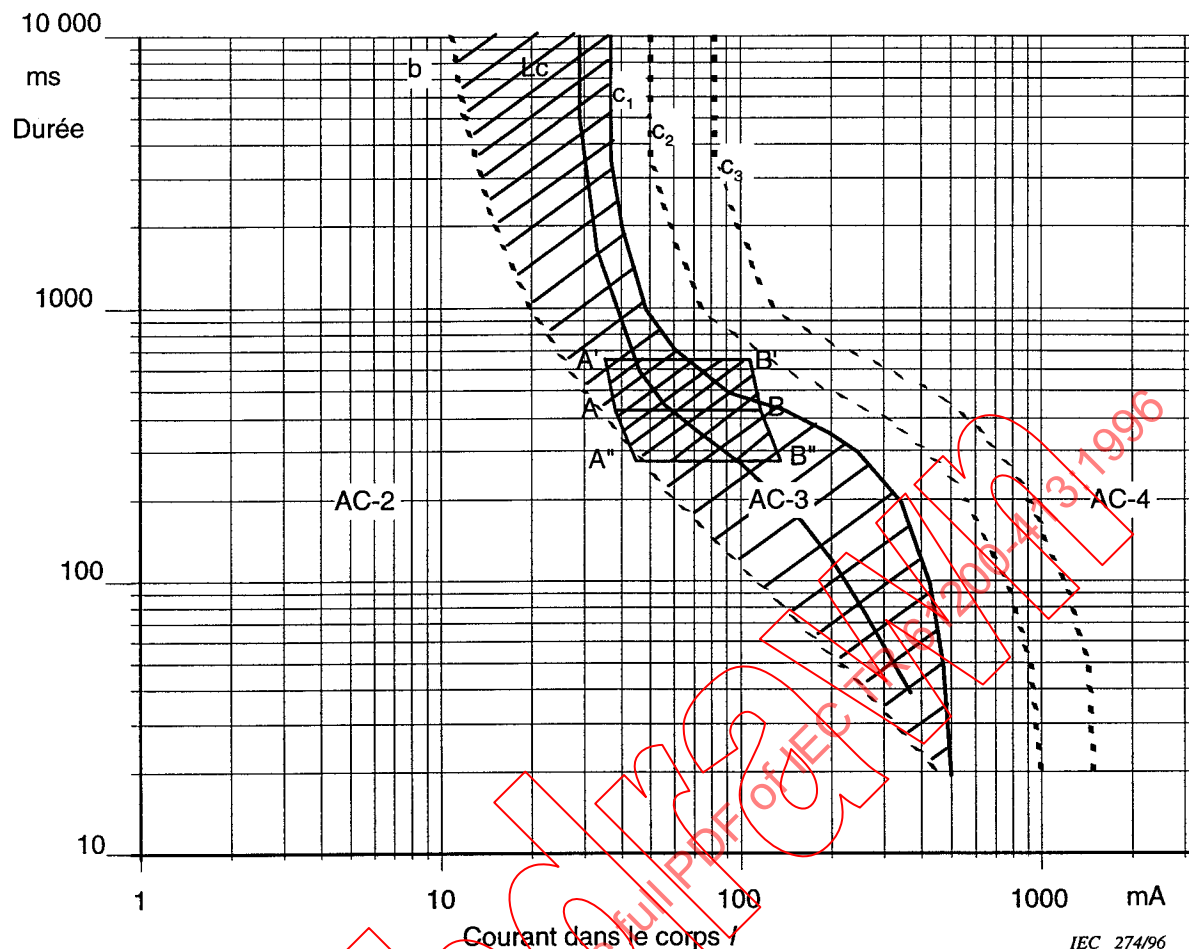


Figure 6 – Effets de la variation des paramètres c , m et U_0 sur les valeurs et durées du courant dans le corps humain lorsque le dispositif de protection est un fusible

NOTES

1 La zone hachurée correspond à la zone de fonctionnement d'un fusible pour une tension nominale d'alimentation $U_0 = 230 \text{ V}$ et une variation des paramètres suivants:

$$U_0 = 230 \text{ V} + 10 \% \text{ à } 230 \text{ V} - 10 \%$$

$$c = \frac{R_L + R_{PE}}{R_0 + R_L + R_{PE}} \text{ variant de } 0.6 \text{ à } 1$$

$$m = \frac{R_{PE}}{R_L} \text{ varie de } 1 \text{ à } 3$$

2 Le point B' situé en zone AC-4 correspond à $c = 1$ avec $U_0 = 230 \text{ V} - 10 \%$, et $m = 3$, une impédance faible et une tension faible présentent une association peu probable.

3 Pour des disjoncteurs, le lieu est une ligne horizontale pour le temps de fonctionnement instantané (par exemple 0,1 s pour des disjoncteurs conformes à la CEI 898). Les circuits doivent être conçus pour que le courant de fonctionnement instantané soit supérieur à toutes les variations possibles de la tension d'alimentation et de l'impédance amont.

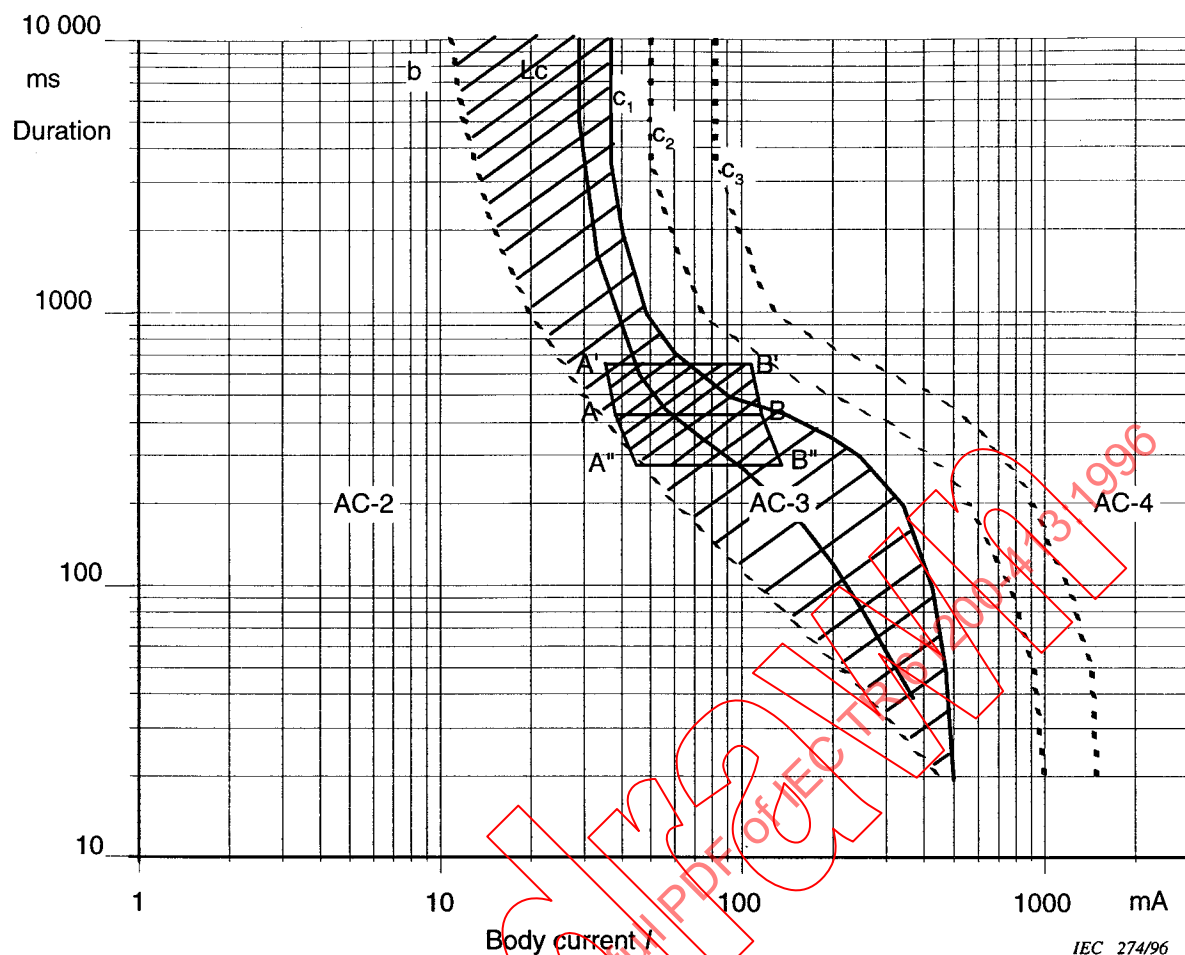


Figure 6 – Effects of variations in parameters c , m , and U_0 on body currents and body current duration, when the overcurrent device is a fuse

NOTE

1 The central hatched area corresponds to the operational area of fuses for a nominal supply voltage U_0 of 230 V and parameter variations as follows:

$$U_0 = 230 \text{ V} + 10 \% \text{ to } 230 \text{ V} - 10 \%$$

$$c = \frac{R_L + R_{PE}}{R_0 + R_L + R_{PE}} \quad \text{range } 0,6 \text{ to } 1$$

$$m = \frac{R_{PE}}{R_L} \quad \text{range } 1 \text{ to } 3$$

2 Point B' situated in Zone AC-4 corresponds to $c = 1$ and $U_0 = 230 \text{ V} - 10 \%$, and $m = 3$ a low value of supply impedance and a low value of voltage are an unusual combination.

3 In the case of a circuit-breaker the locus is a horizontal line at its instantaneous operating time (e.g. 0,1 s for circuit-breakers according to IEC 898). Circuits must be designed to ensure the instantaneous current is exceeded for all likely variations in supply voltage and supply impedance.

D'après ces considérations, les temps de coupure ont été définis dans le tableau 41A (temps conventionnels).

En pratique, ces temps de coupure ne sont pris en considération que si le dispositif de coupure est un fusible: la règle de protection consiste alors à s'assurer que le courant de défaut I_a provoque sûrement la fusion du fusible dans le temps t défini dans le tableau 41A, en vérifiant que le point correspondant du graphique $I(t)$ se situe au-dessus de la limite supérieure de la courbe de fusion du fusible (figure 7).

Si le dispositif de protection est un disjoncteur, il suffit de s'assurer que le courant de défaut I_a est au moins égal au plus petit courant assurant le fonctionnement instantané du disjoncteur. Les temps de fonctionnement des disjoncteurs sont généralement inférieurs à ceux définis dans le tableau 41A à condition qu'ils ne soient pas intentionnellement retardés (figure 8).

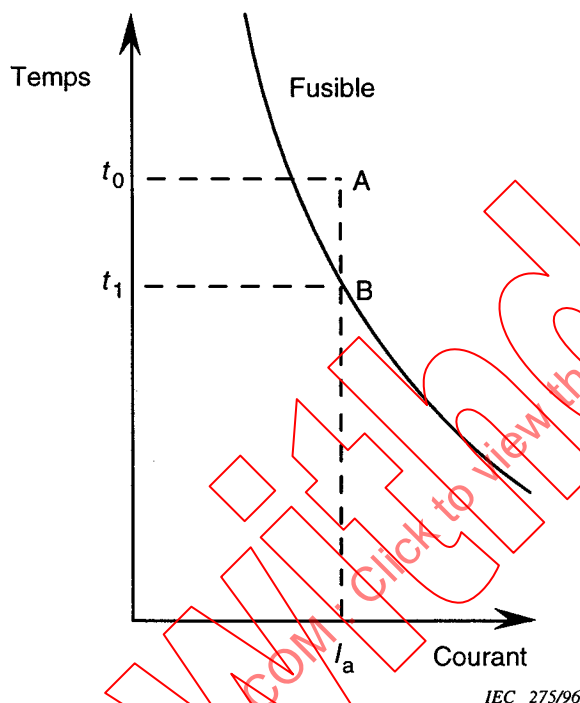


Figure 7 – Protection par fusibles

Le point A correspondant au temps t_0 défini par le tableau 41A pour le courant de défaut I_a doit se trouver au-dessus de la limite supérieure de la zone de fonctionnement du fusible (FF). t_1 est le temps réel de fusion du fusible résultant du courant de défaut I_a .

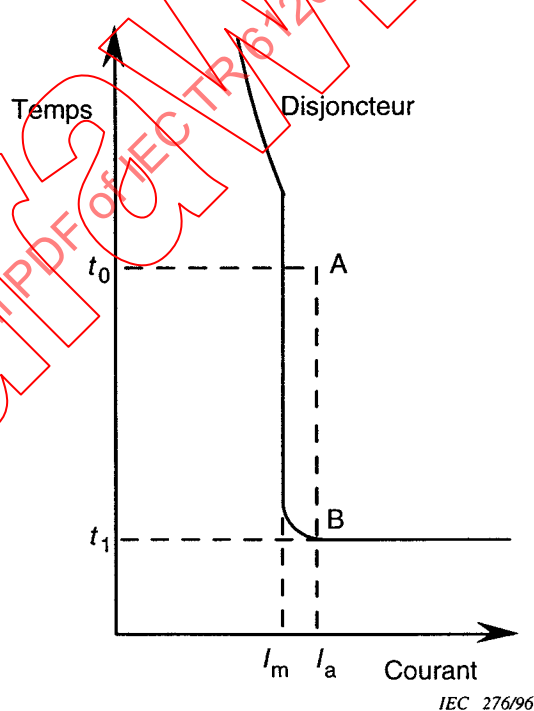


Figure 8 – Protection par disjoncteur

Si le courant de défaut I_a est supérieur au plus petit courant assurant le fonctionnement instantané du disjoncteur I_m , le temps de fonctionnement t_1 du disjoncteur est nettement inférieur au temps t_0 défini dans le tableau 41A.

En outre, si la tension de contact est inférieure à la tension limite conventionnelle U_L , la coupure de l'alimentation n'est pas nécessaire du point de vue de la protection contre les contacts indirects. Toutefois, la coupure peut être nécessaire pour d'autres raisons telles que le risque d'incendie.

Following these considerations the disconnection times given in table 41A have been determined for conventional application.

In practice, these disconnection times are taken into consideration only if the disconnecting device is a fuse. It is necessary to ensure that the fault current I_a will cause the operation of the fuse in the time t defined by table 41A, confirming that the corresponding point of the fuse operating diagram $I(t)$ is above the upper limit of the time current characteristic of the fuse (figure 7).

When the protective device is a circuit-breaker it is sufficient to ensure that the fault current I_a is at least equal to the smallest current ensuring instantaneous operation of the circuit-breaker. The operating times of circuit-breakers are generally less than the times defined by table 41A provided that they are not intentionally delayed (figure 8).

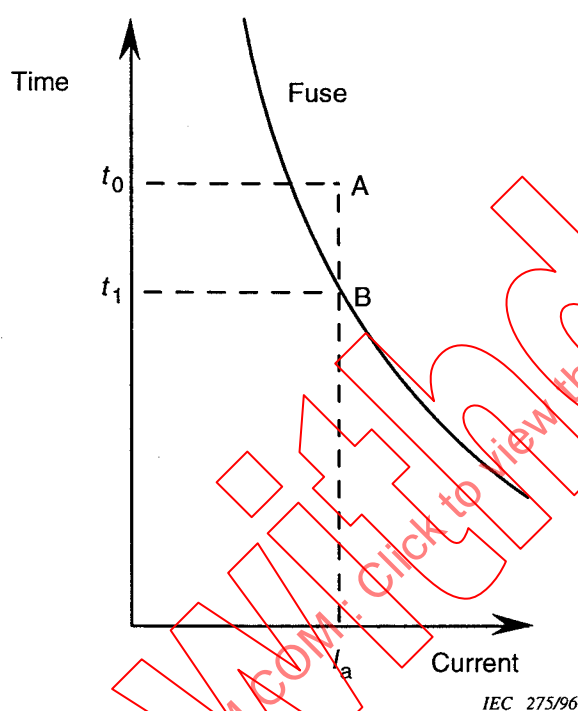


Figure 7 – Protection by fuses

The point A corresponding to the time t_0 defined by table 41A for the fault current I_a is above the upper limit of the time current characteristic of the fuse (FF).

t_1 is the actual disconnecting time of the fuse, as the result of fault current I_a .

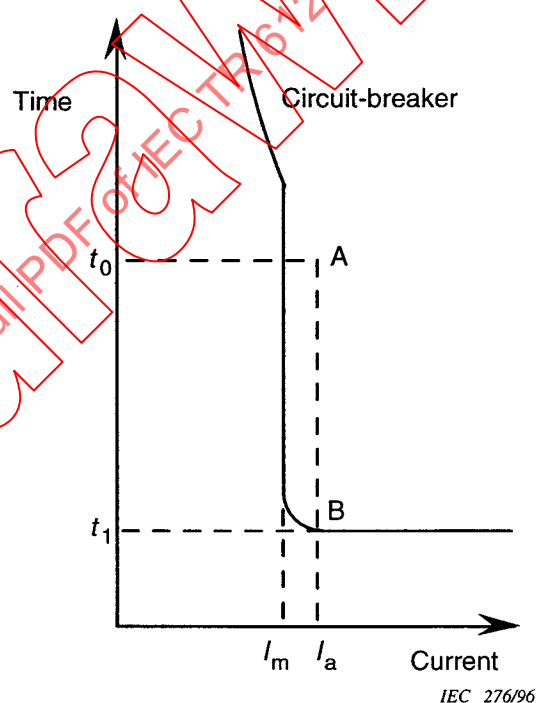


Figure 8 – Protection by circuit-breaker

If the fault current I_a is greater than the smallest current ensuring instantaneous operation of the circuit-breaker I_m , the operating time t_1 of the circuit-breaker is clearly less than the time t_0 defined table 41A.

In other respects, when the touch voltage is less than the conventional touch voltage limit U_L , disconnection of the supply is not necessary from the viewpoint of protection against indirect contact. However, the disconnection may be necessary for other reasons such as risk of fire.

Ceci est particulièrement vérifié si le rapport entre l'impédance du conducteur de protection et l'impédance de la boucle de défaut est suffisamment faible (par exemple utilisation comme conducteur de protection de plusieurs conducteurs en parallèle d'un câble multiconducteur ou de l'armure d'un câble en parallèle avec un conducteur extérieur nu et accolé).

Les dispositions ci-dessus sont applicables aux circuits alimentant des matériels mobiles ou portatifs.

413.1.3.5 *Cas où un temps de coupure de 5 s est admis*

Un temps de coupure supérieur aux valeurs du tableau 41A mais ne dépassant pas 5 s, est permis pour des circuits n'alimentant pas directement des appareils mobiles ou portatifs, pour les raisons suivantes:

- des défauts dans de tels circuits sont plus rares;
- le risque de contact avec de tels matériels en défaut est peu probable;
- les matériels alimentés par ces circuits ne sont pas habituellement tenus à la main et peuvent être facilement lâchés en cas de défaut;
- la tension de contact est réduite en raison de la liaison équipotentielle principale.

Le temps limite de 5 s est conventionnel. Ce temps couvre la plupart des cas où un temps de coupure supérieur à celui du tableau 41A est nécessaire, par exemple pour des circuits de distribution et d'alimentation de moteurs. Ce temps est également compatible avec les tenues thermiques des matériels constituant la boucle de défaut.

L'attention est attirée sur le fait qu'un temps de coupure supérieur à celui du tableau 41A peut être transmis à des circuits terminaux alimentant des appareils mobiles ou portatifs.

Si des liaisons équipotentielles sont réalisées entre toutes les parties conductrices simultanément accessibles, l'existence d'une tension de contact dangereuse est improbable et il est permis de se dispenser de la détermination des conditions de protection contre les contacts indirects pour les circuits situés en amont de ces liaisons équipotentielles. Ceci est avéré pour les circuits principaux et les circuits de distribution.

Ces conditions sont illustrées en figure 9.

This is particularly relevant when the ratio of the impedances of the protective conductor and of the fault loop is sufficiently small (for example, in the use as a protective conductor of several conductors of a multicore cable in parallel, or of cable armour in parallel with a bare additional external conductor in close proximity).

The preceding provisions must be applied to circuits which supply portable equipment and to circuits which supply hand-held equipment.

413.1.3.5 *Cases where a disconnection time up to 5 s is permitted*

A disconnection time exceeding the value given in table 41A, but not exceeding 5 s, is permitted for circuits not directly supplying portable or hand-held equipment for the following reasons:

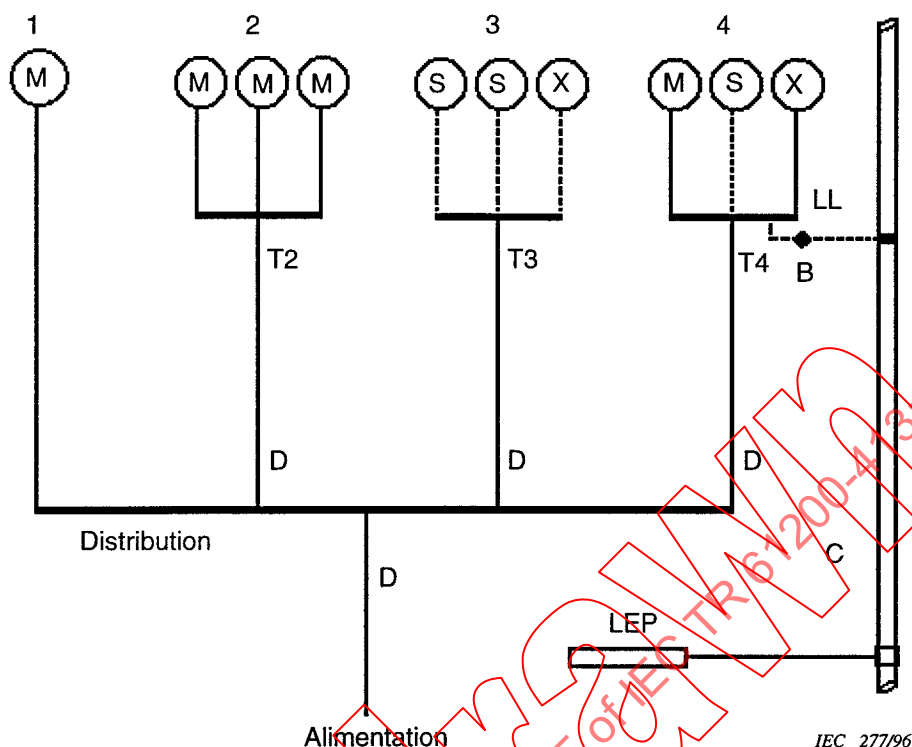
- faults in such circuits are less likely;
- there is less likelihood of persons being in contact with equipment supplied by such circuits during a fault;
- equipment supplied by these circuits is usually not gripped and can therefore be released easily if a fault occurs;
- touch voltage is reduced due to the main equipotential bonding.

The limitation to 5 s is conventional. This time covers most cases in which disconnecting times longer than those given in table 41A are needed, e.g. for distribution circuits and for motor circuits. This time is also compatible with the thermal withstand of equipment constituting the fault loop.

Attention is drawn to the fact that disconnecting times exceeding the values in table 41A may be transferred to associated final circuits supplying portable or hand-held equipment.

Where equipotential bonding is provided between all simultaneously accessible conductive parts, the appearance of a dangerous touch voltage is unlikely in practice and it is then permissible to dispense with the determination of conditions for protection against indirect contact for circuits situated up-stream of the equipotential bonding. This is particularly relevant for main circuits and distribution circuits.

These conditions are illustrated by figure 9.



- Le temps de coupure doit respecter les valeurs du tableau 41A
 ——— Le temps de coupure peut être supérieur aux valeurs du tableau 41A, sans être supérieur à 5 s
- T2,T3,T4 Tableau terminal
 LL Liaison équipotentielle locale
 C Élément conducteur
 M Equipement fixe (moteur par exemple)
 X Appareil d'éclairage fixe
 S Socle de prise de courant
 D Circuits de distribution (circuits situés en amont des circuits terminaux)
 B Point de référence (voir figure 5)

Figure 9 – Conditions de protection des différents circuits d'une installation

La liaison LL n'est pas nécessaire si la tension de contact pouvant apparaître en cas de défaut sur le tableau T4 n'est pas supérieure à U_L .

Cette condition est satisfaite si le rapport de la résistance du conducteur d'équipotentialité entre le tableau T4 et l'élément conducteur C d'une part, et l'impédance de la boucle de défaut d'autre part, est au plus égal au rapport de la tension limite conventionnelle U_L à la tension nominale phase-neutre U_o .

$$\frac{R_{PE}}{Z_S} \leq \frac{U_L}{U_o} \quad (9)$$

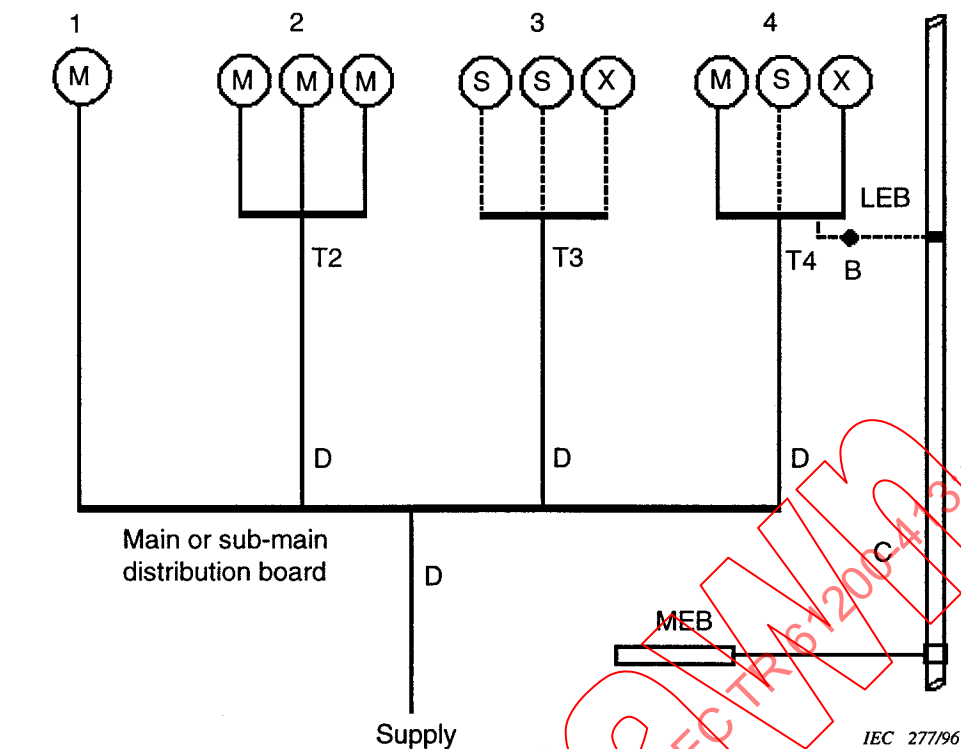
où

R_{PE} est la résistance du conducteur de protection;

Z_S est l'impédance de boucle;

U_o est la tension nominale;

U_L est la tension limite conventionnelle (50 V).



- Disconnecting times have to observe the values of table 41A.
 ——— Disconnecting times may be longer than the values of table 41A, up to 5 s.
- T2,T3,T4 Final distribution boards.
 LEB Local equipotential bonding.
 C Extraneous-conductive-part.
 M Fixed equipment (such as a motor).
 X Fixed luminaire.
 S Socket-outlet.
 D Distribution circuits (circuits situated on the supply side of the final circuits).
 B Reference point (see figure 5).

Figure 9 – Conditions of protection of various circuits of an installation

The bonding LEB is not necessary if the touch voltage which could appear in case of a fault, on the board T4 is not greater than U_L .

This condition is fulfilled if the ratio between the resistance of the protective conductor between the board T4 and the point where the protective conductor is connected to the main earth, and the impedance of the fault loop is not greater than the ratio between the conventional voltage limit U_L and the nominal voltage between phase and neutral U_o .

$$\frac{R_{PE}}{Z_S} \leq \frac{U_L}{U_o} \quad (9)$$

where

- R_{PE} is the resistance of the protective conductor;
 Z_S is the loop impedance.
 U_o is the nominal voltage between phases;
 U_L is the conventional touch voltage limit (50 V).

Ce temps limite de 5 s n'implique pas une temporisation volontaire des dispositifs de protection. Il tient compte des caractéristiques des dispositifs de protection déjà utilisés pour la protection contre les surintensités et permet à ces dispositifs d'assurer la protection contre les contacts indirects.

Toutefois, une certaine temporisation des dispositifs de protection peut être nécessaire pour l'alimentation d'appareils présentant des courants de démarrage ou d'appel importants lors de leur mise sous tension, afin d'éviter des déclenchements intempestifs. Ceci peut être applicable pour l'alimentation de moteurs de forte puissance.

413.1.3.7 Limitation de la tension de défaut se fondant sur l'équilibre des tensions

La figure 10 illustre la formule du paragraphe 413.1.3.7 fondée sur la balance des tensions de telle manière que la tension de contact ne soit pas supérieure à la tension limite conventionnelle U_L (50V).

$$\frac{R_B}{R_E} \leq \frac{50}{U_o - 50}$$

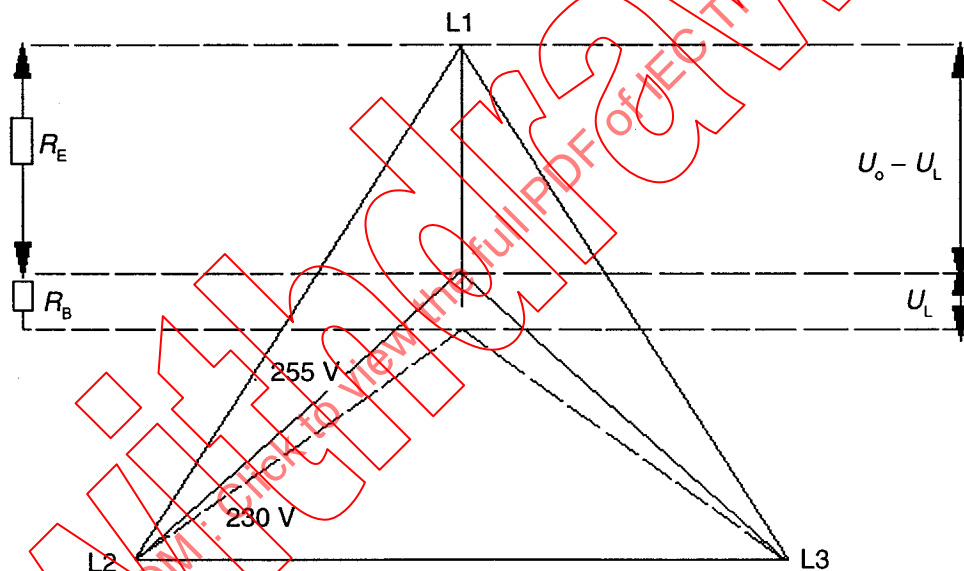


Figure 10 – Balance des tensions en schéma TN

$$U_t = (U_o - U_L) \frac{R_B}{R_E}$$

Si U_t est inférieure à U_L , alors

$$\frac{R_B}{R_E} \leq \frac{U_L}{(U_o - U_L)}$$

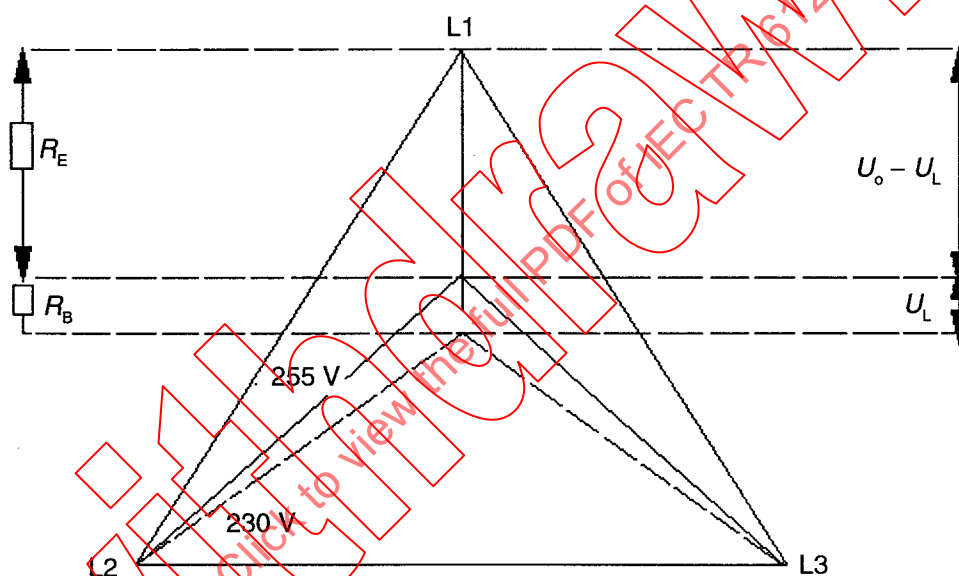
This time limit of 5 s does not imply intentional delayed operation of protective devices. It takes into account the characteristics of the protective devices already used for protection against overcurrent and permits the devices to be used for indirect shock protection.

However, some delayed operation of protective devices may be necessary for the supply of apparatus with heavy starting currents or to provide for inrush current at the time of their being switched on, in order to avoid nuisance tripping. This may be applicable for the supply of high power motors.

413.1.3.7 Limitation of fault voltage based on voltage balance

Figure 10 shows the formula of sub-clause 413.1.3.7 which is based on voltage balance in such manner that the touch voltage does not exceed the conventional voltage limit U_L (50 V).

$$\frac{R_B}{R_E} \leq \frac{50}{U_o - 50}$$



IEC 278/96

Figure 10 – Voltage balance in a TN system

$$U_t = (U_o - U_L) \frac{R_B}{R_E}$$

If U_t is to be less than U_L

then

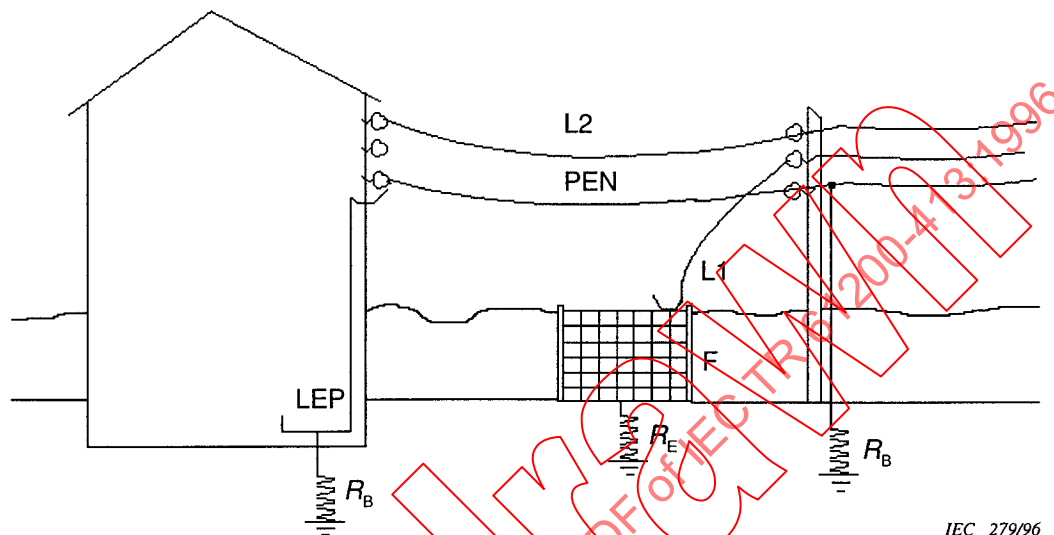
$$\frac{R_B}{R_E} \leq \frac{U_L}{(U_o - U_L)}$$

où

R_B est la résistance globale de toutes les prises de terre en parallèle;

R_E est la résistance minimale de contact avec la terre d'éléments conducteurs non reliés à un conducteur de protection ou à un conducteur d'équipotentialité, sur lesquels un défaut entre phase et terre peut se produire.

La figure 11 montre un exemple de défaut direct à la terre et pour lequel les conditions ci-dessus devront être satisfaites.



- L1 Conducteur aérien nu coupé
- L2 Ligne aérienne en conducteurs nus
- F Clôture métallique
- LEP Liaison équipotentielle principale du bâtiment
- R_E Valeur de la résistance de terre de la clôture
- R_B Valeur des résistances de terre

Figure 11 – Défaut direct à la terre

413.1.3.6, 413.1.3.8 et 413.1.3.9 *Protection par dispositifs de protection à courant différentiel-résiduel*

Si les conditions de protection par des dispositifs de protection contre les surintensités ne sont pas satisfaites, la protection peut être assurée par des dispositifs à courant différentiel-résiduel (DDR): ces conditions peuvent être rencontrées pour des circuits alimentant des socles de prises de courant dont la longueur n'est pas connue, pour des circuits de grande longueur et de faible section et dont l'impédance est excessive.

Dans ce cas, le conducteur de protection de tels circuit doit être relié à:

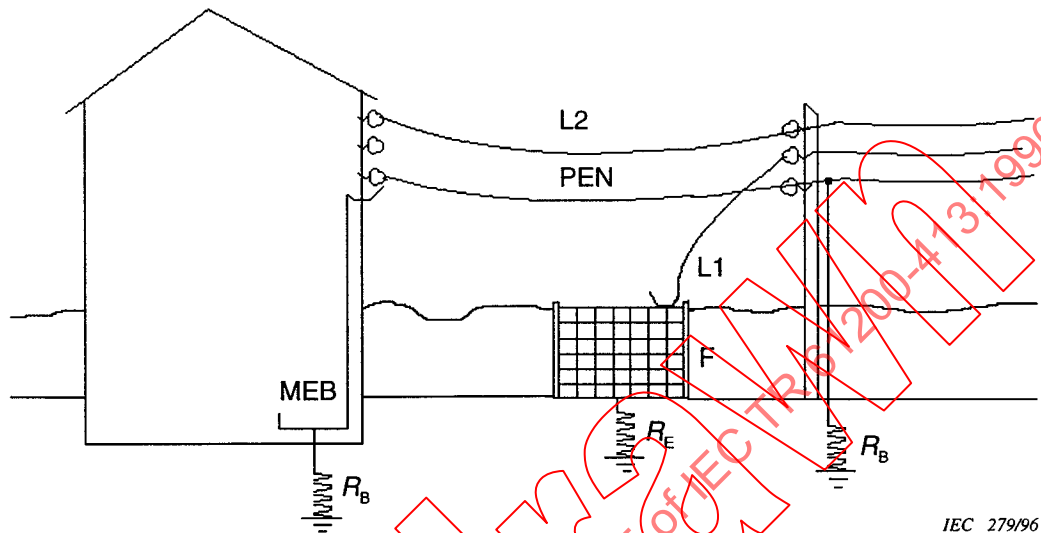
- a) soit au conducteur de protection de l'installation – conducteur PEN en schéma TN-C – en amont du dispositif DDR, voir figure 12;
- b) soit à une prise de terre distincte qui doit satisfaire aux conditions de protection du schéma TT, voir figure 13.

where

R_B is the total earthing resistance of all earth electrodes in parallel;

R_E is the minimum contact resistance with earth of extraneous-conductive-parts not connected to a protective conductor, through which a fault to earth may occur.

Figure 11 shows an example of a direct fault to earth and in which the conditions above should be fulfilled.



- L2 Healthy overhead line bare conductor
- L1 Broken bare overhead line conductor
- F Metal fence
- MEB Main equipotential bonding of the building
- R_E Resistance of fence to general mass of earth
- R_B Resistance of earth electrodes within the customers installation and within the supply system.

Figure 11 – Direct fault to earth

413.1.3.6, 413.1.3.8 and 413.1.3.9 Protection by residual protective devices

Where the conditions for protection by overcurrent protective devices cannot be fulfilled, the protection may be provided by residual current protective devices (RCD): such conditions may exist in circuits supplying socket-outlets the length of which is unknown, in circuits of great length and of small cross-sectional areas the impedance of which is excessive.

In this case, the protective conductor of such circuits shall be connected either:

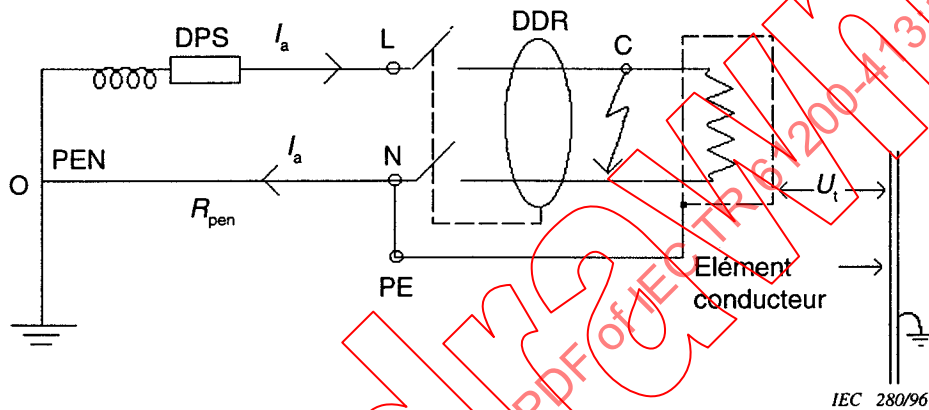
- a) to the protective conductor of the installation – PEN conductor in TN-C system – on the source side of the RCD, see figure 12;
- b) to a separate earth electrode which shall comply with the conditions of protection of TT systems, see figure 13.

Dans le cas a), un court-circuit se produisant en aval du DDR produira une élévation du potentiel du conducteur de protection due à la chute de tension provoquée par le courant de court-circuit dans ce conducteur. Cette élévation de potentiel peut apparaître lors de la coupure du dispositif de protection contre les surintensités.

La liaison équipotentielle principale réduit le risque susceptible de se présenter dans ces conditions et il n'est plus nécessaire de considérer les risques tels que définis dans le chapitre 41.

Le risque dû à de telles conditions paraît suffisamment faible et exceptionnel pour ne pas le prendre en compte dans les règles du chapitre 41.

De plus, ce risque n'existe pas si l'une des conditions a) ou b) de 413.1.3.5 est satisfaite.

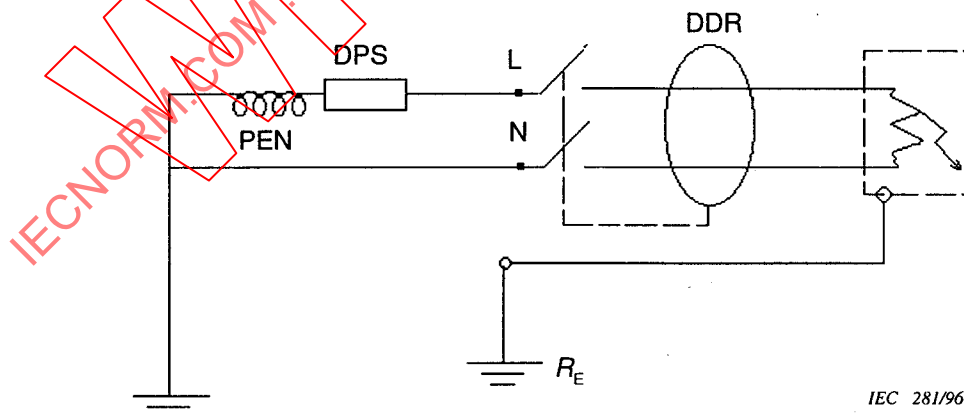


DPS = Dispositif de protection contre les surintensités

DDR = Dispositif à courant différentiel-résiduel

Figure 12 – Raccordement du conducteur de protection d'un circuit au conducteur PEN

Un court-circuit se produisant en C, entre un conducteur de phase et le neutre, entraînera une chute de tension dans le conducteur PEN entre O et N égale au produit du courant I_a par la résistance du conducteur PEN et une tension de contact $U_t = I_a \cdot R_{pen}$



$I_{\Delta n}$ du DDR est choisi selon les valeurs de R_E tel que $I_{\Delta n} \leq \frac{50}{R_E}$

Figure 13 – Prise de terre séparée et circuit associé selon les conditions de protection en schéma TT indiqué en 1.8 b)

In the case a), a short circuit occurring on the load side of the RCD will cause a rise in potential of the protective conductor due to the voltage drop caused by the short-circuit current in this conductor. Such a rise of potential could appear during the operating time of the overcurrent protective device.

The main equipotential bonding reduces the risk which could arise in such circumstances and so there is no need to consider this risk in Chapter 41.

Further, this risk does not exist if one of the conditions a) or b) of 413.1.3.5 is fulfilled.

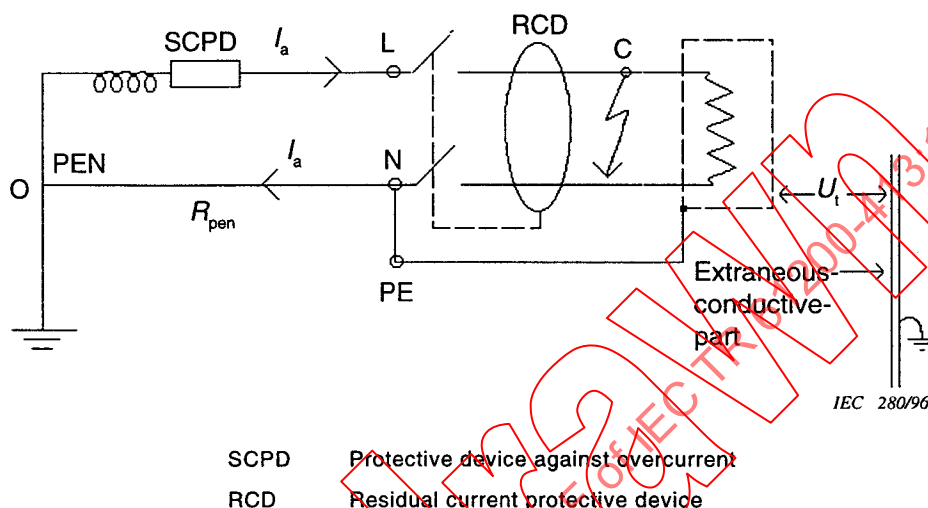
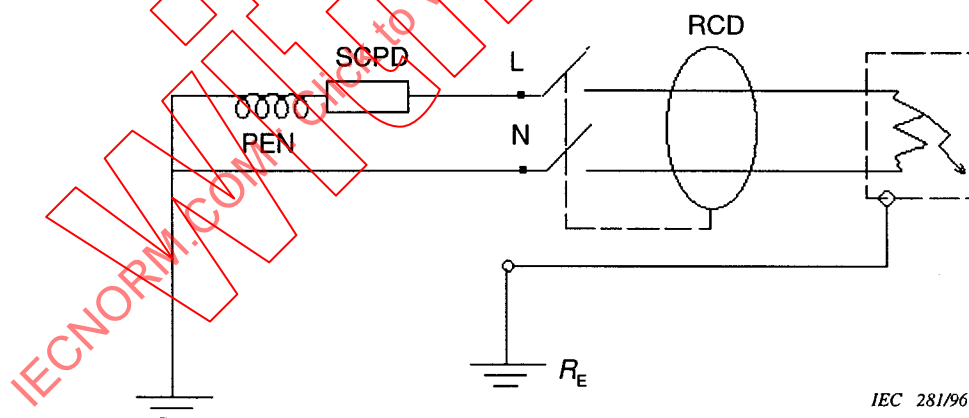


Figure 12 – Connection of the protective conductor of a circuit to the PEN-conductor

A short circuit occurring at C between a phase conductor and the neutral will cause a voltage drop in the PEN conductor between O and N equal to the product of the short-circuit current I_a and the resistance of the PEN conductor, resulting in the touch voltage $U_t = I_a R_{pen}$



$$I_{\Delta n} \text{ of the RCD is selected so that } I_{\Delta n} \leq \frac{50}{R_E}$$

Figure 13 – Separate earth electrode and associated circuit according to the conditions of protection of TT system and illustrating 1.8 b)

413.1.4 Schéma TT

413.1.4.1 Boucle de défaut

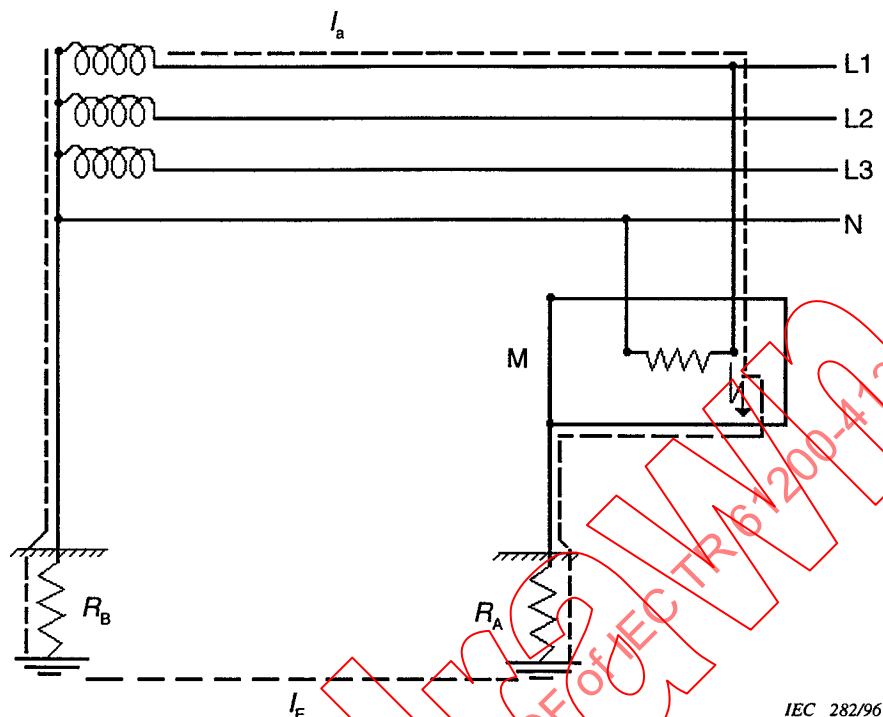


Figure 14 – Principe de protection en schéma TT*

Dans le schéma TT, comme le montre la figure 14, la boucle de défaut est constituée par le conducteur actif siège du défaut, le conducteur de protection reliant la masse à la prise de terre et les deux prises de terre des masses de l'installation (R_A) et du neutre de l'alimentation (R_B).

413.1.4.2 Analyse des conditions de protection

En cas de défaut, la tension de contact est prise égale à la tension de défaut:

$$U_c = R_A I_F \quad (10)$$

où

I_F est le courant de défaut;

R_A est la somme des résistances de la prise de terre et des conducteurs de protection des éléments conducteurs.

En négligeant les résistances des liaisons galvaniques (conducteur actif et conducteur de protection) qui sont généralement faibles par rapport aux résistances des prises de terre, le courant de défaut est égal à:

$$I_F = \frac{U_o}{R_A + R_B} \quad (11)$$

* Voir en annexe les figures B.1 et B.2 et les définitions des différentes tensions.

413.1.4 TT system

413.1.4.1 Fault loop

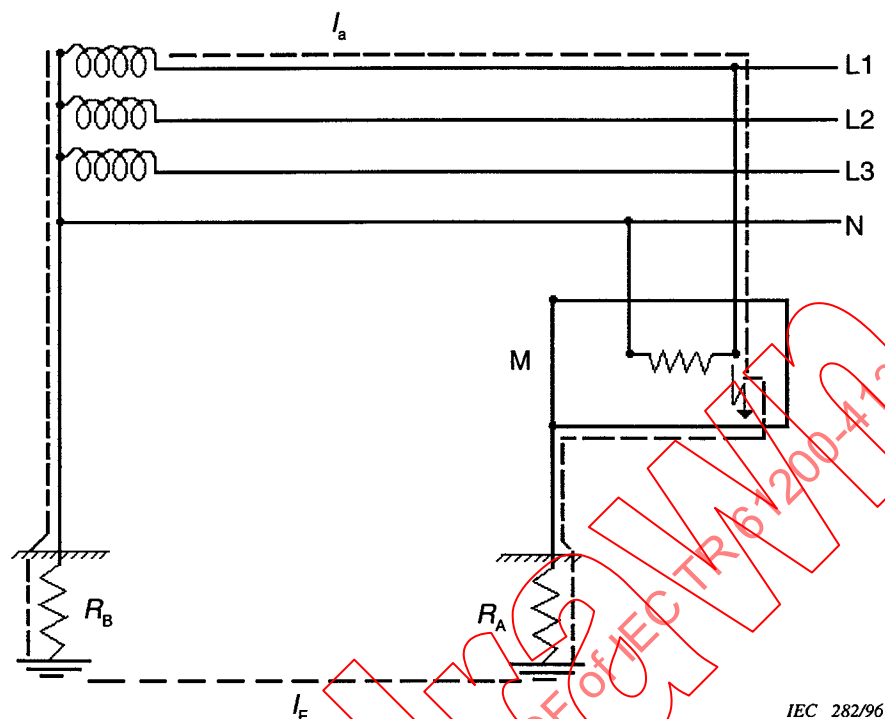


Figure 14 – Principle of protection in TT systems*

In a TT system, as shown in figure 14, the fault loop comprises the live conductor on which the fault occurs, the protective conductor connecting the exposed-conductive-part to the earth electrode, and the two earth electrodes for exposed-conductive-parts of the installation (R_A) and for the neutral of the supply (R_B).

413.1.4.2 Analysis of conditions of protection

The touch voltage in case of a fault is assumed to equal to the fault voltage:

$$U_c = R_A I_F \quad (10)$$

where

I_F is the fault current;

R_A is the sum of the resistances of the earth electrode and the protective conductors of the exposed-conductive-parts.

Neglecting the resistance of metallic paths (live conductor and protective conductor) which are generally low by comparison with the resistances of the earth electrodes, the fault current is

$$I_F = \frac{U_o}{R_A + R_B} \quad (11)$$

* See annex figures B.1 and B.2 and the definition of the various voltages.

En schéma TT, le courant de défaut est généralement plus faible qu'en schéma TN; un défaut d'impédance non négligeable peut durer sans coupure pendant un temps plus long que celui permis pour la protection contre les contacts indirects.

Lors de ces défauts, la sécurité est assurée si la tension de contact présumée due à un défaut d'impédance négligeable ne dépasse pas la tension limite conventionnelle U_L , le temps de coupure étant au plus égal à 5 s. Si le défaut présente une impédance non négligeable, le courant de défaut est inférieur et le temps de coupure est d'autant plus élevé, mais en raison de la valeur de la tension de contact qui est inférieure à U_L , les conditions de protection sont satisfaites.

Si l'installation est alimentée par un réseau de distribution à basse tension, la valeur de la résistance de la prise de terre du neutre R_B n'est généralement pas connue et une valeur par excès ($R_A + R_B$) est déterminée par la mesure de la résistance de la boucle de défaut.

L'utilisation comme dispositifs de coupure automatique de dispositifs différentiels conformes à l'annexe B de la CEI 947-2, de la CEI 1008 et de la CEI 1009 (voir aussi la CEI 755) non retardés intentionnellement, permet une élimination rapide du courant de défaut: les temps de coupure sont inférieurs à ceux définis.

413.1.4.4 Dispositifs de protection

L'utilisation de dispositifs de protection contre les surintensités pour assurer la protection contre les contacts indirects en schéma TT implique des valeurs de résistances de prises de terre très faibles. Ainsi, un fusible de 20 A nécessite une prise de terre de résistance inférieure à 0,7 Ω et un disjoncteur de 32 A une valeur inférieure à 0,5 Ω .

De telles valeurs de prises de terre sont pratiquement irréalisables et ne peuvent être maintenues dans le temps.

Quelle que soit la résistance des prises de terre, l'emploi de dispositifs à courant différentiel-résiduel permet d'assurer la protection contre les contacts indirects, par exemple un dispositif différentiel de courant assigné de 0,3 A permet une valeur de prise de terre de 160 Ω résistance aisément obtenue dans la plupart des terrains.

In TT systems, which have lower earth fault current levels than is generally the case in TN systems, a fault not of negligible impedance might persist without disconnection for a time longer than that permitted for protection against indirect contact.

Safety will be provided during such faults if it is required that the prospective touch voltage for the fault current from a fault of negligible impedance does not exceed the conventional voltage limit U_L , the disconnecting time of the protective device being at most 5 s. If the fault is not a fault of negligible impedance, the fault current is lower and the disconnecting time is proportionally longer, but because the touch voltage is less than U_L , conditions for protection are satisfied.

Where the installation is supplied by a low-voltage distribution system, the value of the resistance of the earth electrode of the neutral R_B is generally not known and a value (which exceeds $R_A + R_B$) is determined by measuring the resistance of the fault loop.

The use, as automatic disconnecting devices, of residual current devices conforming to annex B of IEC 947-2, IEC 1008 and IEC 1009 (see also IEC 755) without intentional delay, permits a rapid elimination of fault current: their disconnecting times are less than those specified.

413.1.4.4 *Protective devices*

The use of overcurrent protective devices for protection against indirect contact in TT systems requires a very low earthing resistance e.g. a fuse of 20 A needs an earth resistance lower than 0,7 Ω and a circuit-breaker of 32 A needs an earth resistance lower than 0,5 Ω .

Such low value of earth resistance is difficult to achieve in practice and cannot be guaranteed for the lifetime of the installation.

Irrespective of the resistance of the earth electrodes, the use of a residual current device provides a means of protection against indirect contact. For example, a device with a rated residual current of 30 mA permits the resistance of the earth electrode to be 160 Ω , which can be easily achieved in most soil conditions.

413.1.5 Schéma IT

413.1.5.1, 413.1.5.3 Non coupure au premier défaut

En schéma IT, en cas de premier défaut d'isolement, le courant de défaut est limité de telle sorte qu'aucune tension de contact dangereuse, supérieure à la tension limite conventionnelle U_L , ne puisse apparaître dans l'installation.

Cette condition permet d'éviter toute coupure au premier défaut et de continuer l'exploitation de l'installation. Il est cependant important que le défaut soit localisé et éliminé le plus rapidement possible. En cas contraire, l'installation fonctionne en schéma TN ou TT et la coupure doit intervenir en cas de second défaut avant l'élimination du premier, ce qui conduirait à perdre les avantages du schéma IT.

413.1.5.3, 473.3.2.2* Différents schémas IT

L'installation est, soit isolée de la terre, soit reliée à la terre à travers une impédance de valeur suffisante.

Si l'installation est isolée de la terre (figure 15), le courant de premier défaut se referme par les capacités des deux autres phases par rapport à la terre. Ceci peut limiter les longueurs de l'ensemble des circuits de l'installation.

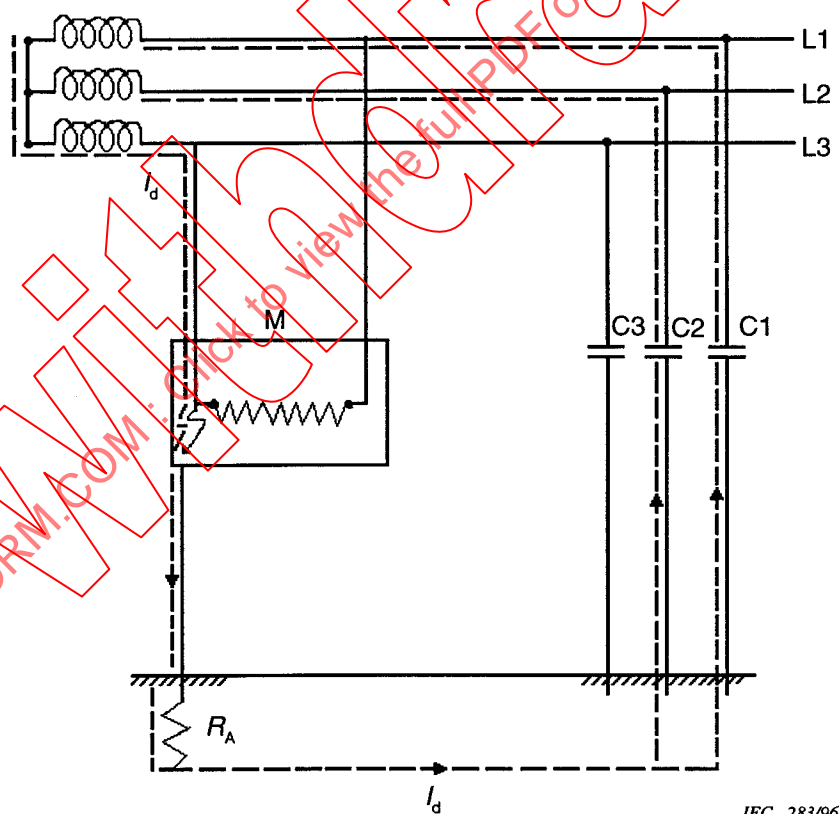


Figure 15 – Schéma IT isolé de la terre

Le courant de premier défaut, qui affecte la phase 3, se referme par les capacités réparties sur les deux autres phases.

* CEI 364-4-473.

413.1.5 IT system

413.1.5.1, 413.1.5.3 No disconnection for the first fault

In an IT system, in the event of a first insulation fault, the fault current is limited in such a way that a dangerous touch voltage, greater than the conventional voltage limit U_L , cannot appear in the installation.

This condition allows avoidance of disconnection of the first fault and permits continued use of the installation. However it is important that the fault be located and eliminated as soon as possible. Otherwise, the installation functions as a TN or TT system and must be disconnected if a second fault occurs before elimination of the first fault, which negates the advantages of the IT system.

413.1.5.3, 473.3.2.2* Types of IT systems

The installation is either insulated from earth or connected to earth through an impedance to limit the fault current.

Where the installation is insulated from earth (figure 15), the first fault current is determined by the capacities to earth of the other two phases. This could limit the length of all circuits of the installation.

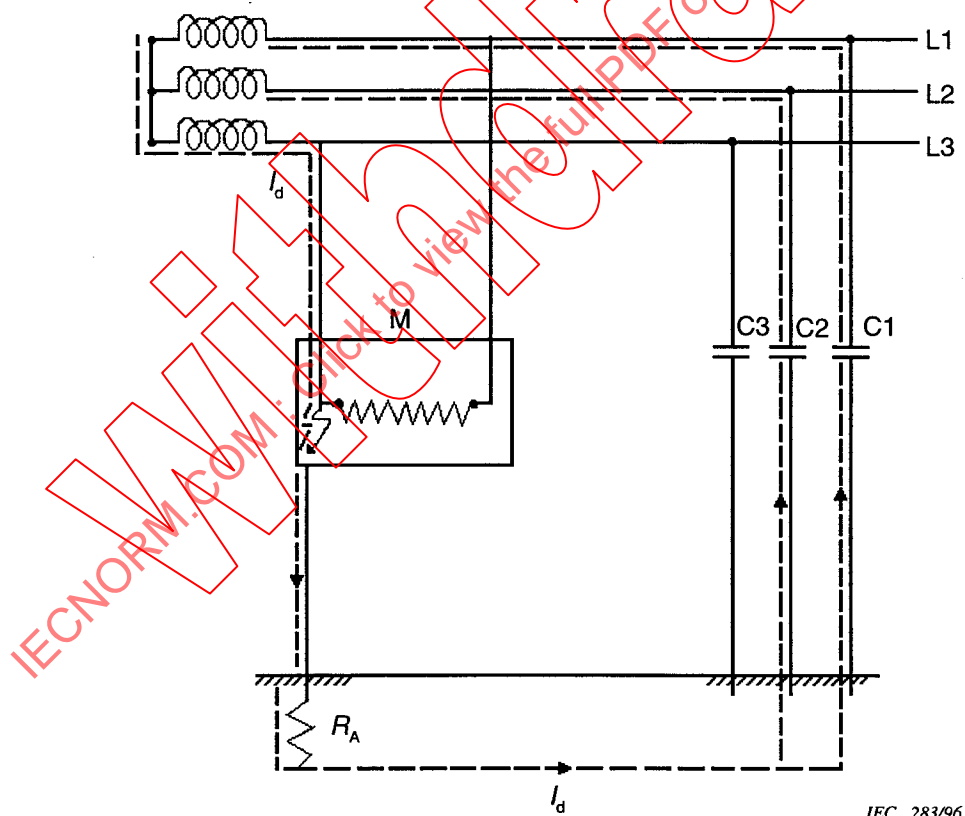


Figure 15 – IT system insulated from earth

The first fault current, which affects phase 3, arises from the mutual capacitances of the two other phases.

* IEC 364-4-473.

Si l'installation est reliée à la terre par une impédance (voir figures 16 et 17), l'intensité du courant de premier défaut est pratiquement limitée par la valeur de cette impédance, les capacités des deux autres phases par rapport à la terre présentant généralement une impédance nettement plus élevée, à moins que l'installation ne comporte des câbles de grande longueur ou avec revêtements métalliques.

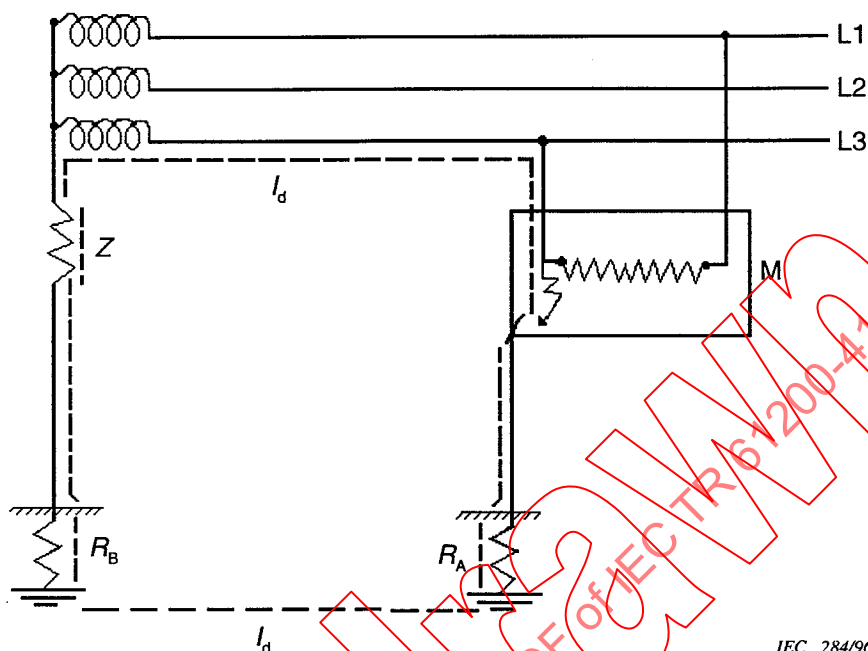


Figure 16 – Schéma IT dans lequel le neutre est relié à la terre par une impédance Z et dans lequel les prises de terre de l'alimentation (R_B) et des masses (R_A) sont séparées

Le courant de premier défaut (défaut sur une masse M) est limité par la somme des résistances des deux prises de terre et de l'impédance Z . La condition permettant la non-coupage est la limitation de la tension de contact apparaissant sur une masse égale à $R_A I_d$, à une valeur ne dépassant pas la tension limite conventionnelle U_L .

La liaison de l'installation à la terre à travers une impédance est notamment réalisée si des oscillations de tension ou de surtensions sont susceptibles de se produire en raison de phénomènes de résonance.

La valeur de l'impédance Z est choisie de telle sorte que tout phénomène d'oscillation soit empêché ainsi que la circulation d'un courant de défaut qui serait détecté. Le courant de défaut ne doit pas être très élevé de manière qu'en cas de circulation permanente dans les conducteurs de protection et, dans certains cas, dans les prises de terre, n'engendre pas d'échauffements significatifs.

En général, la valeur de l'impédance Z est prise de l'ordre de 5 à 6 fois la tension simple de l'installation, par exemple de l'ordre de 1000 Ω pour des installations 230/400 V.

Where the installation is connected to earth by an impedance (see figures 16 and 17), the magnitude of the current of the first fault is limited by the value of that impedance, the capacitances of the two other phases to earth generally presenting a much higher impedance unless the installation includes cables of great length or having metallic coverings.

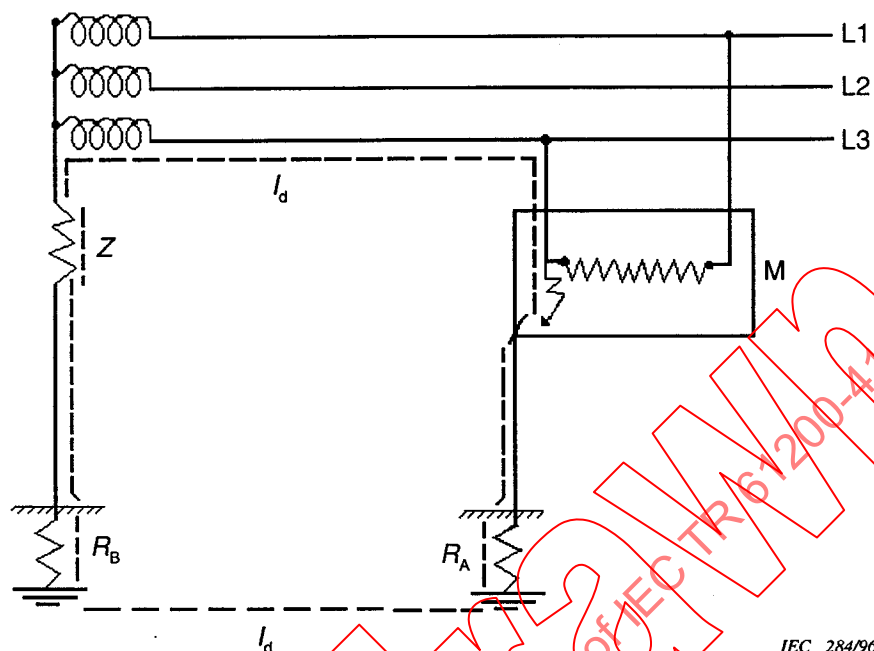


Figure 16 – IT system in which the neutral is connected to earth by an impedance Z and in which the earth electrodes of the supply (R_B) and of the exposed-conductive-parts (R_A) are separated

The first fault current (fault of the exposed-conductive-part M) is limited by the sum of the resistances of the two earth electrodes and the impedance Z . The condition permitting no disconnection is the limitation of the touch voltage on the exposed-conductive-part M equal to $R_C I_d$, not exceeding the conventional voltage limit U_L .

The connection of the installation to earth through an impedance is provided particularly where overvoltages or voltage oscillations in the installation are expected due to resonance phenomena.

The value of the impedance Z is chosen so as to avoid oscillation and to cause the circulation of a fault current which should be detected. The current fault does not have to be very high so that its continuous circulation in protective conductors and, in certain cases, in earth electrodes does not lead to significant heating.

Generally the value of the impedance Z is of the order of 5 to 6 times the nominal value of the single-phase voltage of the installation, for example, of the order of 1000 Ω for 230/400 V installations.

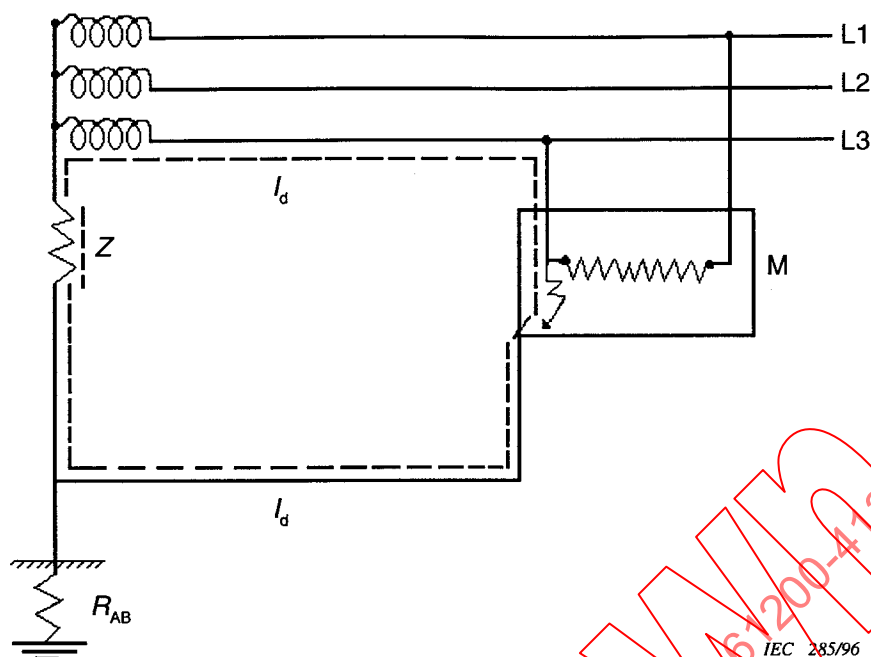


Figure 17 – Schéma IT dans lequel le neutre est relié à la terre par une impédance Z et dans lequel les prises de terre de l'alimentation (R_B) et des masses (R_A) sont confondues (R_{AB})

La figure 17 illustre une situation où le courant de premier défaut est limité par la seule impédance Z , les impédances des conducteurs associés étant négligeables. Aucune tension de contact n'apparaît sur la masse et il n'est pas nécessaire de vérifier la condition du paragraphe 413.1.5.3.

Cependant, conformément à 413.1.3.7, il est nécessaire de limiter la valeur de R_{AB} si le risque d'un défaut direct entre phase et terre doit être pris en compte.

Dans ces figures, le conducteur neutre n'a pas été représenté car, en schéma IT, il est fortement recommandé de ne pas distribuer le conducteur neutre. En effet, si le conducteur neutre est distribué dans une installation IT, un défaut à la terre l'affectant supprime les avantages attachés aux installations dans lesquelles le neutre n'est pas relié directement à la terre.

Par ailleurs, la distribution du conducteur neutre, s'il n'est pas relié à la terre, nécessite les mesures suivantes:

- pour éviter qu'en cas de deux défauts survenant dans une même installation dans deux circuits de sections différentes, le conducteur neutre de plus faible section ne soit parcouru par des courants d'intensité supérieure à son courant admissible;
- pour que les matériels d'utilisation ne puissent être soumis à des tensions supérieures à leur tension assignée.

Ces dispositions sont énoncées en 473.3.2.2* mais impliquent une étude technique détaillée de l'installation pour leur mise en oeuvre.

Enfin, le fait de ne pas distribuer le conducteur neutre facilite le choix des dispositifs de protection contre les surintensités et la recherche des défauts.

* CEI 364-4-473

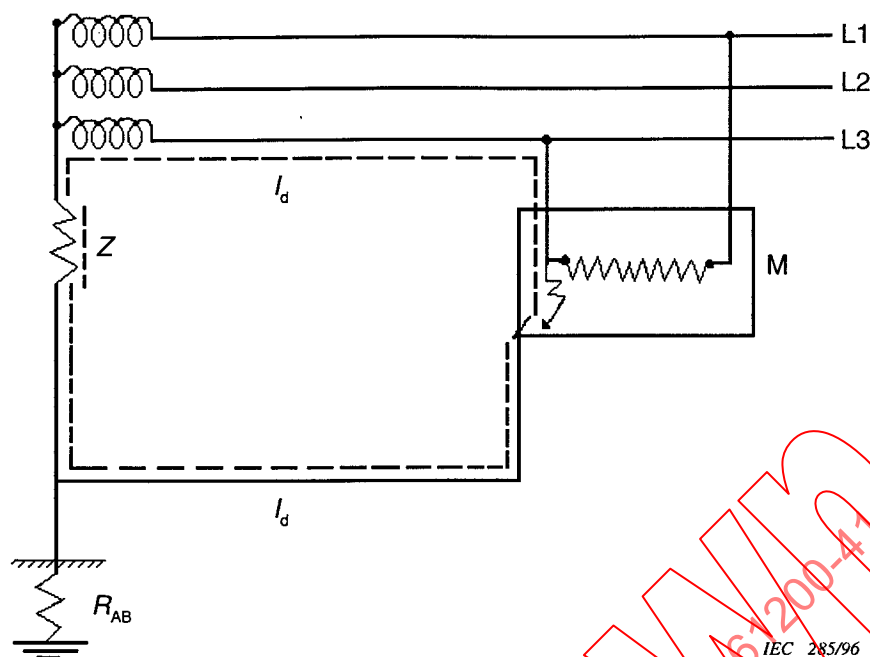


Figure 17 – IT system in which the neutral is connected to earth through an impedance Z and in which the earth electrodes of the supply (R_B) and of the exposed-conductive-parts (R_A) are one and the same (R_{AB})

Figure 17 illustrates the situation where the first fault current is limited by the single impedance Z , the impedances of the associated conductors being negligible. No touch voltage appears on the exposed-conductive-part and it is not necessary to verify the condition of sub-clause 413.1.5.3.

However, according to 413.1.3.7, it is necessary to limit the value of R_{BC} if the risk of a direct fault between a phase and earth has to be taken into account.

In these diagrams the neutral conductor has not been represented because, in the IT system, it is strongly recommended not to distribute a neutral conductor. In effect, if a neutral conductor is distributed in an IT installation, a fault to earth effectively negates the advantages attached to systems in which the neutral is not directly connected to earth.

Otherwise, the distribution of a neutral conductor, when it is not connected to earth, necessitates making arrangements:

- to avoid, in case of two faults arising in the same installation in two circuits of different cross-sectional areas, the neutral conductor of the smaller cross-section carrying magnitudes of current greater than its current-carrying capacity;
- to ensure that equipment is not subjected to voltages greater than its rated voltage.

These arrangements are specified in 473.3.2.2* but necessitates a detailed technical study of the installation to put them into effect.

Finally, the absence of the neutral conductor facilitates the choice of devices for protection against overcurrent and the locating of the faults.

* IEC 364-4-473

413.1.6 *Liaison équipotentielle supplémentaire*

La liaison équipotentielle supplémentaire est une mesure compensatrice qui est réalisée lorsque les conditions de protection déterminées pour le schéma correspondant ne sont pas satisfaites.

Elle peut être nécessaire, par exemple, dans les schémas TN ou IT, dans des circuits de grande longueur et tels que l'impédance de la boucle de défaut soit trop élevée pour assurer le fonctionnement du dispositif de protection dans le temps prescrit.

Elle n'a pas pour but de diminuer le temps de fonctionnement du dispositif de protection, mais de réduire la tension de contact à une valeur non dangereuse: c'est pourquoi, la condition du paragraphe 413.1.6.2 est basée sur la tension limite conventionnelle U_L qui peut être maintenue indéfiniment sans danger.

En ce qui concerne le temps de coupure, le temps de 5 s est valable si le dispositif de protection est un fusible pour assurer la coupure dans un temps déterminé. Si le dispositif de protection est un disjoncteur, le courant à prendre en considération est le plus petit courant assurant le fonctionnement instantané du disjoncteur (voir figure 9), toujours pour assurer la coupure dans un temps déterminé.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 62004-3:1996

413.1.6 *Supplementary equipotential bonding*

Supplementary equipotential bonding is a compensatory measure which is applied when the protective conditions for the relevant system are not satisfied.

This bonding may be necessary, for example, in TN or IT systems in circuits of great length and such that the fault loop impedance is too high to ensure operation of the protective device in the prescribed time.

It does not have the object of lessening the operating time of the protective device, but to reduce the touch voltage to a non-dangerous value and for this reason the condition of sub-clause 413.1.6.2 is based on the conventional voltage limit U_L which may be maintained indefinitely without danger.

With regard to disconnecting times, the time of 5 s is valid if the protective device is a fuse to ensure disconnection in a finite time. If the protective device is a circuit-breaker, the current to be taken into consideration is the smallest current for the instantaneous operation of the circuit-breaker (see figure 9), again to achieve finite operation.

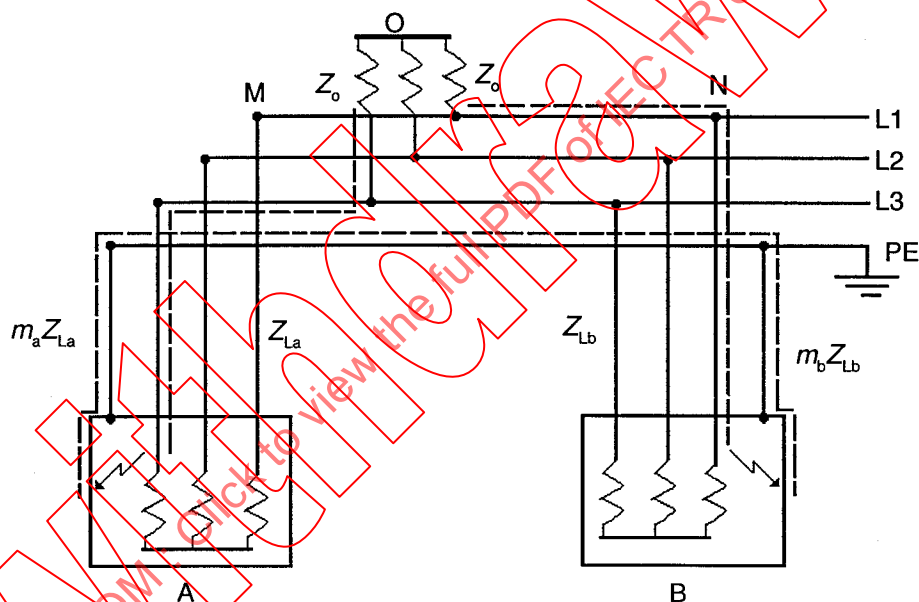
Annexe A

413.1.5.5 et 413.1.5.6 Protection au deuxième défaut

A.1 Conditions générales

Si le premier défaut n'est pas éliminé et que se produit un second défaut d'isolement affectant une autre phase, un courant de double défaut va s'établir, lequel est un courant de court-circuit entre phases (ou entre phase et neutre) mais dont l'intensité est nettement inférieure à un courant de court-circuit dans un seul circuit, du fait qu'il intéresse deux circuits comme le montre la figure 18.

Les conditions d'élimination de ce courant de double défaut dépendent de la situation des prises de terre: comme il ressort des figures 16 et 17, le cas de la figure 16 correspond pour le deuxième défaut à un schéma TT, tandis que le cas de la figure 17 correspond à un schéma TN.



IEC 286/96

----- Courant de double défaut I_{df}

Figure A.1 – Courant de double défaut I_{df} en schéma IT lorsque les masses sont reliées à une même prise de terre

Z_{LA} est l'impédance du conducteur de phase entre la masse A et le point de référence dont le potentiel peut être considéré comme identique à celui de l'emplacement de la masse considérée, ou à celui des éléments conducteurs (y compris la surface avec laquelle une personne est en contact), qui peuvent être touchés simultanément.

Z_{LB} est l'impédance du conducteur de phase entre la masse B et le même point de référence.

Z_0 est l'impédance de l'alimentation, voir figure A.1.

Annex A

413.1.5.5 and 413.1.5.6 Protection following a second fault

A.1 General conditions

If the first fault is not eliminated and a second insulation fault occurs affecting another phase, a double fault current is established which is a short-circuit current between phases (or between phase and neutral) but the magnitude of which is clearly less than a short-circuit current in a single circuit, due to the fact that it involves two circuits as shown in figure 18.

Conditions for elimination of this double fault current depend on the situation with regard to earth electrodes: reverting to figures 16 and 17, the case of figure 16 corresponds for the second fault to a TT system, whereas the case of figure 17 corresponds to a TN system.

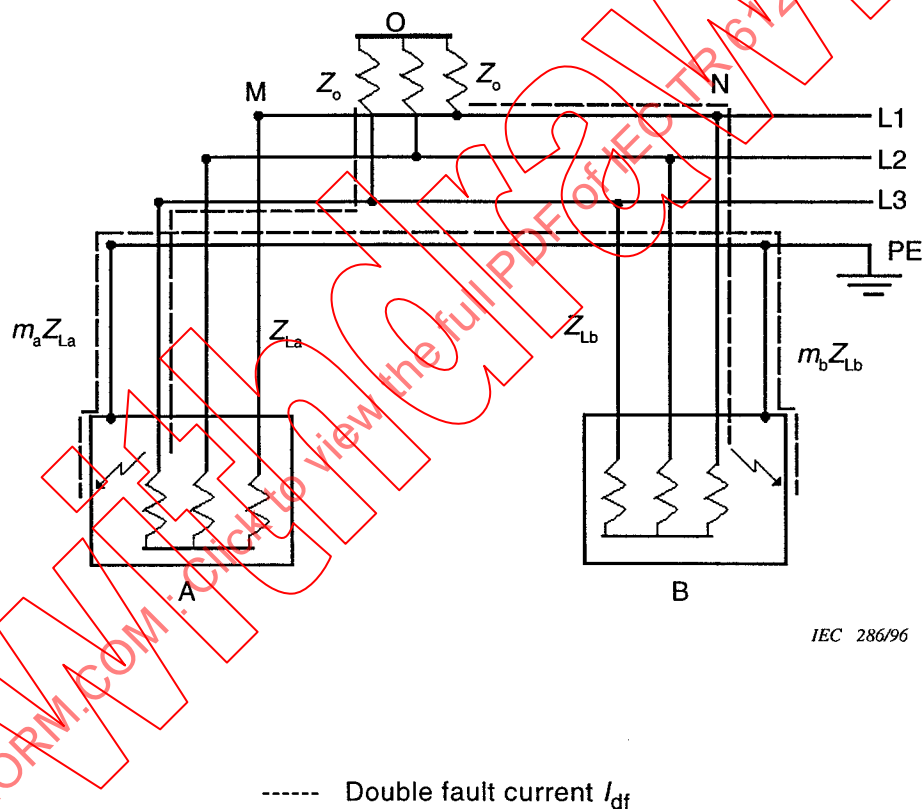


Figure A.1 – Double fault current (I_{df}) in an IT system where the exposed-conductive-parts are connected to the same earth electrode

Z_{LA} is the impedance of the phase conductor between the exposed-conductive-part A and the reference point whose potential may be regarded as identical to that of the place where the exposed-conductive-part considered is situated, or to that of extraneous-conductive-parts (including the surface with which a person is in contact), which may be touched simultaneously.

Z_{LB} is the impedance of the phase conductor between the exposed-conductive-part B and the same reference point.

Z_0 is the supply impedance, see figure A.1.

La figure A.1 est indépendante des dispositions de mise à la terre de l'installation (isolée de la terre ou reliée à la terre par une impédance).

Les conditions de coupure de courant de double défaut sont les suivantes:

a) Si dans une même installation, toutes les masses ne sont pas reliées à la même prise de terre, la protection est assurée par les conditions du schéma TT si deux défauts se produisent dans des groupes différents de masses interconnectées.

A l'intérieur d'un groupe de masses interconnectées, la protection est assurée, si deux défauts se produisent dans ce groupe, dans les conditions indiquées en 413.1.5.6 de la CEI 364-4-41 (voir ci-après A.2 à A.6).

b) Si dans une même installation, toutes les masses, y compris celles de la source, sont reliées à la même prise de terre, la protection est assurée, si deux défauts se produisent dans l'installation, dans les conditions de 413.1.5.6 de la CEI 364-4-41 (voir ci-après A.2 à A.6).

A.2 Tension de contact présumée

Si le risque de contact simultané avec deux masses sièges de deux défauts d'isolement est négligé, en raison de la faible probabilité de tels contacts, la tension de contact présumée à prendre en considération est celle qui apparaît, lors du deuxième défaut, entre une masse en défaut et la liaison équipotentielle principale.

En considérant le schéma de la figure A.1, cette tension est égale à la chute de tension dans le conducteur de protection entre A et M, due au courant de double défaut I_{df} .

La tension de contact présumée est:

$$U_t = m_a Z_{LA} I_{df} \quad (12)$$

En remplaçant I_{df} ,

$$U_t = \frac{m_a Z_{LA} U}{2 Z_o + Z_{LA}(1+m_a) + Z_{LB}(1+m_b)} \quad (13)$$

en posant

$$c = \frac{Z_{LA}(1+m_a) + Z_{LB}(1+m_b)}{2 Z_o + Z_{LA}(1+m_a) + Z_{LB}(1+m_b)} \quad (14)$$

où

$m_a = R_p / R_A$ pour le circuit A;

$m_b = R_p / R_B$ pour le circuit B.

et

$$z = \frac{Z_{LA}}{Z_{LB}}$$

il vient

$$U_t = \frac{m_a z c U}{z(1+m_a) + (1+m_b)} \quad (15)$$

où U est la tension entre phases.

La formule (15) suppose que le rapport m à la même valeur depuis l'origine de l'installation jusqu'à la masse considérée. S'il n'en est pas ainsi, la formule (16) s'écrit:

Figure A.1 does not depend on the earthing arrangements of the installation (insulated or connected to earth through an impedance).

Conditions for disconnection of a double fault current are as follows:

- a) When in the same installation, all the exposed-conductive-parts are not connected to the same earth electrode, protection is provided, if the two faults are produced in different groups of interconnected exposed-conductive-parts, as for a TT system.

Within a group of interconnected exposed-conductive-parts, protection is provided if two faults are produced in that group, by the conditions indicated for 413.1.5.6 of the IEC 364-4-41 (see A.2 to A.6 below).

- b) Where in the same installation all the exposed-conductive-parts including those of the source are connected to the same earth electrode, protection is provided if two faults are produced in the installation by the conditions of 413.1.5.6 of the IEC 364-4-41 (see A.2 to A.6 below).

A.2 Prospective touch voltage

If the risk of contact between two exposed-conductive-parts in which two insulation faults occur is neglected because of its low probability, the prospective touch voltage to be taken into account is that appearing during the second fault between an exposed-conductive-part under fault and the main equipotential bonding.

Considering the system shown in figure A.1, this voltage is equal to the voltage drop in the protective conductor between A and M due to the double fault current I_{df} .

The prospective touch voltage is:

$$U_t = m_a Z_{LA} I_{df} \quad (12)$$

substituting for I_{df}

$$U_t = \frac{m_a Z_{LA} U}{2 Z_o + Z_{LA}(1+m_a) + Z_{LB}(1+m_b)} \quad (13)$$

let

$$c = \frac{Z_{LA}(1+m_a) + Z_{LB}(1+m_b)}{2 Z_o + Z_{LA}(1+m_a) + Z_{LB}(1+m_b)} \quad (14)$$

where

$$m_a = R_p / R_A \text{ for circuit A.}$$

$$m_b = R_p / R_B \text{ for circuit B.}$$

and

$$z = \frac{Z_{LA}}{Z_{LB}}$$

then

$$U_t = \frac{m_a z c U}{z(1+m_a) + (1+m_b)} \quad (15)$$

where U is the voltage between phases.

The formula (15) assumes that the ratio m has the same value from the origin of the installation to the exposed-conductive-parts considered. If this is not so, formula (16) is written:

$$U_t = \frac{\sum Z_p m_p}{\sum (1 + m_p) Z_p} \cdot c U \quad (16)$$

où

Z_p est l'impédance du conducteur de protection du circuit p;

m_p est la valeur du rapport m dans le circuit p.

Nous avons supposé que le conducteur neutre n'était pas distribué, auquel cas la tension U était égale à la tension entre phases. Si le conducteur neutre était distribué, les mêmes considérations seraient valables, la tension U étant alors égale à la tension U_0 entre phase et neutre.

A.3 Courant de double défaut

Le courant de double défaut est égal à:

$$I_{df} = \frac{U}{Z_{LA}(1 + m_a) + Z_{LB}(1 + m_b) + 2 Z_0} \quad (17)$$

ou, en tenant compte du rapport c précédemment défini:

$$I_{df} = \frac{c U}{Z_{LA}(1 + m_a) + Z_{LB}(1 + m_b)} \quad (18)$$

Si I_a est l'intensité du courant de défaut franc phase-masse au point A, et I_b l'intensité du courant de défaut franc phase-masse au point B, on a:

$$I_a = \frac{c U}{Z_{LA}(1 + m_a)} \quad \text{et} \quad I_b = \frac{c U}{Z_{LB}(1 + m_b)}$$

I_a et I_b étant respectivement les courants de défaut en A et B qui circuleraient si l'installation était en schéma TN.

On déduit que:

$$\frac{I_{df}}{I_a} = \frac{z(1 + m_a)}{z(1 + m_a) + (1 + m_b)} \quad (19)$$

$$\frac{I_{df}}{I_b} = \frac{1 + m_b}{1 + m_b + z(1 + m_a)} \quad (20)$$

Si z est supérieur à $\frac{1 + m_b}{1 + m_a}$, I_{df} est supérieur à $\frac{I_a}{2}$

Si z est inférieur à $\frac{1 + m_b}{1 + m_a}$, I_{df} est supérieur à $\frac{I_b}{2}$

$$U_t = \frac{\sum Z_p m_p}{\sum (1 + m_p) Z_p} \cdot c U \quad (16)$$

where

Z_p is the impedance of the protective conductor of the circuit p.

m_p is the value of the ratio m in the circuit p.

Having assumed that the neutral conductor is not distributed, the voltage U is the voltage between phases. If the neutral conductor is distributed, the same considerations are valid, the voltage U then being the voltage U_0 between phase and neutral.

A.3 Double fault current

The double fault current is:

$$I_{df} = \frac{U}{Z_{LA}(1 + m_a) + Z_{LB}(1 + m_b) + 2 Z_0} \quad (17)$$

or, taking account of the ratio c previously defined:

$$I_{df} = \frac{c U}{Z_{LA}(1 + m_a) + Z_{LB}(1 + m_b)} \quad (18)$$

If I_a is the current from phase to exposed conductive-part in the case of a fault of negligible impedance at the point A, and I_b is the current from phase to exposed conductive-part in the case of a fault of negligible impedance at the point B, then:

$$I_a = \frac{c U}{Z_{LA}(1 + m_a)} \quad \text{and} \quad I_b = \frac{c U}{Z_{LB}(1 + m_b)}$$

where I_a and I_b are respectively the fault currents in A and B which circulate if the installation is a TN system.

It follows that:

$$\frac{I_{df}}{I_a} = \frac{z(1 + m_a)}{z(1 + m_a) + (1 + m_b)} \quad (19)$$

$$\frac{I_{df}}{I_b} = \frac{1 + m_b}{1 + m_b + z(1 + m_a)} \quad (20)$$

If z is greater than $\frac{1 + m_b}{1 + m_a}$, I_{df} is greater than $\frac{I_a}{2}$.

If z is less than $\frac{1 + m_b}{1 + m_a}$, I_{df} is greater than $\frac{I_b}{2}$.

Pour faciliter la démonstration, nous avons effectué quelques simplifications dans les calculs qui précèdent, mais ces simplifications ne modifient pas les conclusions. En particulier, nous avons supposé que le coefficient c était le même pour le calcul du courant de double défaut et pour les courants de défaut phase-masse: en fait, ce coefficient n'a pas rigoureusement la même valeur mais la valeur unique de 0,8 est retenue.

A.4 Conditions de protection pour un deuxième défaut dans un schéma IT

Les conditions de protection doivent être déterminées de telle manière que le courant de double défaut assure la coupure dans un temps correspondant, d'après la courbe L à la tension de contact présumée entre la masse considérée et la liaison équipotentielle principale.

La tension de contact présumée, donnée par la formule 15, est égale à:

$$U_t = \frac{m_a z c U}{z(1+m_a) + (1+m_b)}$$

Le courant de double défaut, donné par la formule 19, est égal, par rapport au courant de défaut phase-masse, à:

$$\frac{I_{df}}{I_a} = \frac{z(1+m_a)}{z(1+m_a) + (1+m_b)}$$

En pratique, les conditions de protection de chaque circuit doivent pouvoir être déterminées sans tenir compte des caractéristiques des autres circuits; c'est ainsi que les formules (15) et (19) doivent être appliquées en ne tenant compte que du seul rapport m du circuit considéré et pour la valeur 1 du rapport z , soit:

$$U_t = 0,5 c U \frac{m}{1+m} \quad (21)$$

$$I_{df} = 0,5 \frac{c U}{Z_L + Z_{PE}} \quad (22)$$

où

Z_L est l'impédance du conducteur actif du circuit considéré en aval du point d'alimentation correspondant au point de référence;

Z_{PE} est l'impédance du conducteur de protection en aval du point de référence;

U est la tension entre phases si le conducteur neutre n'est pas distribué et est égale à U_0 si le neutre est distribué.

L'étude des variations de la tension de contact et du courant de double défaut en fonction du rapport z des impédances des deux circuits sièges des deux défauts, et suivant les valeurs des rapports m de ces deux circuits, montre la validité des formules (21) et (22).

Ainsi, les conditions de protection en schéma IT sont satisfaites si le dispositif de protection de chaque circuit assure la coupure d'un courant au moins égal à la moitié du courant de défaut franc qui circulerait si l'installation était en schéma TN.

Le temps de fonctionnement correspondant du dispositif de protection est celui fixé par la courbe L pour une tension de contact présumée U' égale à une fraction de la tension de contact présumée U_c en schéma TN, cette fraction étant égale à:

- 0,5 si le conducteur neutre est distribué dans l'installation;
- $0,5 \sqrt{3}$ si le conducteur neutre n'est pas distribué dans l'installation.

To facilitate explanation, some simplification has been introduced in the preceding calculations, such simplification not affecting the conclusions. In particular, it has been assumed that the coefficient c is the same for the calculation of the double fault current and for the current of a fault from a phase to an exposed-conductive-part; in fact, the coefficient does not strictly have the same value but the single value of 0,8 has been retained.

A.4 Conditions for protection for second faults in IT systems

Conditions for protection have to be determined in such a manner that a double fault current ensures disconnection in a time according to curve L, corresponding to the prospective touch voltage, between the exposed-conductive-part considered and the main equipotential bonding.

The prospective touch voltage is given by formula 15 as follows:

$$U_t = \frac{m_a z c U}{z(1+m_a) + (1+m_b)}$$

The ratio of the double fault current to the current of the phase to exposed-conductive-part fault, is given by formula 19 as follows:

$$\frac{I_{df}}{I_a} = \frac{z(1+m_a)}{z(1+m_a) + (1+m_b)}$$

In practice, conditions for protection of each circuit have to be capable of determination without taking account of characteristics of other circuits. Thus formulae (15) and (19) have to be applied in taking account of the single ratio m of the circuit considered and, for the value of 1 of the ratio z ,

$$U_t = 0,5 c U \frac{m}{1+m} \quad (21)$$

$$I_{df} = 0,5 \frac{c U}{Z_L + Z_{PE}} \quad (22)$$

where

Z_L is the impedance of the live conductor of the circuit considered downstream of the point of supply corresponding to the reference point;

Z_{PE} is the impedance of the protective conductor downstream of the reference point;

U is the voltage between phases if the neutral conductor is not distributed and equal to U_0 the phase-to-neutral voltage if the neutral is distributed.

A study of variations of the touch voltage and of the double fault current as a function of the ratio z of the impedances of two circuits, locations of two faults, and according to the values of ratios m of the two circuits, shows the validity of formulae (21) and (22).

Thus, conditions for protection in IT systems are satisfied if the protective device of each circuit ensures disconnection of a current of at least half of the fault current of a fault of negligible impedance which would circulate if the installation were a TN system.

The corresponding operating time of the protective device is that fixed by curve L for a prospective touch voltage U' equal to a fraction of the prospective touch voltage U_c in TN systems, the fraction being:

- 0,5 if the neutral conductor is distributed in the installation;
- $0,5 \sqrt{3}$ if the neutral conductor is not distributed in the installation.

A.5 Schémas IT avec et sans neutre

Dans toutes les formules qui précèdent (19) à (22), la tension U est celle qui est à l'origine de la boucle de défaut c'est-à-dire:

- la tension entre phases $U_0\sqrt{3}$ lorsque le neutre n'est pas distribué;
- la tension entre phase et neutre U_0 si le neutre est distribué.

Lorsque le neutre est distribué, les conditions de double défaut dont l'un intéresse le conducteur neutre sont les plus défavorables, puisqu'elles conduisent au courant de double défaut le plus faible – pris égal à la moitié du courant de défaut en schéma TN – qui est déterminant pour la protection contre les contacts indirects. Si les conditions de protection sont satisfaites pour un double défaut phase et neutre, elles le seront d'autant mieux pour un double défaut phase-phase.

En effet, si un fusible assure la coupure du courant de double défaut phase-neutre en un temps t de 0,8 s (pour une installation 230/400 V), pour un double défaut phase-phase, le fusible assurera la coupure dans un temps t' égal à:

$$t' = 0,8 \left(\frac{230}{400} \right)^4 = 0,09 \text{ s}$$

nettement inférieur au temps de 0,4 s correspondant à la tension de contact présumée dans le schéma IT sans neutre.

Lorsque la protection est assurée par disjoncteurs, le courant de double défaut phase-phase étant égal à $\sqrt{3}$ fois le courant de double défaut phase-neutre, il est évident que si le deuxième courant est supérieur au seuil de fonctionnement instantané, le premier assurera également la coupure instantanée du disjoncteur.

A.6 Choix des dispositifs de protection

Le dispositif de protection est choisi de telle manière que le courant égal à:

$$I_{df} = 0,5 \frac{U}{Z_S} \quad (23)$$

assure son fonctionnement dans un temps au plus égal à celui fixé par la courbe L en fonction de la tension de contact U'_c définie ci-dessus.

Dans cette formule,

U est la tension entre phases si le conducteur neutre n'est pas distribué dans l'installation, ou

la tension entre phase et neutre (U_0) si le conducteur neutre est distribué dans l'installation;

Z_S est l'impédance de la boucle de défaut en schéma TN, telle que définie en 413.1.3.3, formule (4).

Si les réactances peuvent être négligées, le courant I_{df} , tiré de la formule 22, est pris égal à:

$$I_{df} = 0,5 \frac{c U}{R_L + R_{PE}} \quad (24)$$

A.5 IT system with and without neutral

In all formulae (19) to (22), the voltage U is that at the origin of the fault loop, i.e.:

- the voltage between phases $U_0\sqrt{3}$ if the neutral is not distributed;
- the voltage between phase and neutral U_0 if the neutral is distributed.

When the neutral is distributed, the conditions of double fault, one of which concerns the neutral conductor faulted to earth, are the most unfavourable because they give the lowest double fault current and this double fault current, taken equal to the half of the fault current in TN system, is relevant for the protection against indirect contact. If the conditions of protection are fulfilled for a double fault phase neutral, they are better fulfilled for a double fault phase to phase.

Indeed, if a fuse ensures the disconnection of a double fault phase neutral within a time t of 0,8 s (for the voltage 230/400 V), for a double fault phase to phase, it will give disconnection within a time t' :

$$t' = 0,8 \left(\frac{230}{400} \right)^4 = 0,09 \text{ s}$$

This is much lower than the time of 0,4 s corresponding to the prospective touch voltage in an IT system without neutral.

When the protection is ensured by circuit-breakers, the double fault current phase to phase is equal to $\sqrt{3}$ times the double fault current phase to neutral and it is clear that if the second current is greater than the current ensuring instantaneous operation, the first current will ensure the instantaneous operation of the circuit-breaker.

A.6 Choice of protective devices

The protective device is selected so that the current

$$I_{df} = 0,5 \frac{U}{Z_S} \quad (23)$$

ensures its operation in a time not exceeding that fixed by curve L as a function of the prospective touch voltage U'_c defined before.

In this formula,

U is the voltage between phases if the neutral conductor is not distributed in the installation, or

the voltage between phases and neutral (U_0) if the neutral conductor is distributed in the installation;

Z_S is the impedance of the fault loop as defined for a TN system in 413.1.3.3 formula (4).

If reactances may be neglected, the current I_{df} from equation 22, can be taken as:

$$I_{df} = 0,5 \frac{c U}{R_L + R_{PE}} \quad (24)$$

où

c est le facteur conventionnel défini dans la formule (7);

$R_L + R_{PE}$ sont les résistances définies dans la formule (6).

La tension de contact présumée U_t est prise égale à:

$$U_t = 0,5 c U \frac{m'}{1+m'} \quad (25)$$

où

U est la tension définie ci-dessus;

m' est le rapport entre les résistances du conducteur de protection et du conducteur actif (le conducteur de phase s'il n'est pas distribué et le conducteur neutre s'il est distribué) du circuit considéré. Si les conducteurs sont de même matériau, m' est pris égal au rapport des sections du conducteur actif (le conducteur de phase si le neutre n'est pas distribué et le conducteur neutre s'il est distribué) et du conducteur de protection du circuit considéré.

En pratique, les temps de coupure du tableau 41B (l'application conventionnelle) ont été déterminés de la même manière que pour le schéma TN (413.1.3.3).

where

c is the conventional factor defined in formula (7);

R_L and R_{PE} are the resistances defined in formula (6).

The prospective touch voltage U_t is taken as:

$$U_t = 0,5 c U \frac{m'}{1 + m'} \quad (25)$$

where

U is the voltage defined above;

m' is the ratio of the resistances of the protective conductor and of the live conductor (the phase conductor if the neutral is not distributed and the average of the phase neutral conductor if it is distributed) in the circuit considered. If the conductors are of the same material, m' is taken as the ratio of the cross-sectional areas of the live conductor (the phase conductor if the neutral is not distributed and the neutral conductor if it is distributed) and of the protective conductor in the circuit considered.

In practice, the disconnecting times of table 41B (conventional application) have been determined in the same manner as for TN systems (413.1.3.3).

Annexe B

Définitions de la tension de contact, de la tension de contact présumée et de la tension de défaut

B.1 Le chapitre 826 du Vocabulaire Electrotechnique International donne les définitions suivantes de la tension de contact présumée:

B.1.1 *Tension de contact* [VEI 826-02-02]

Tension apparaissant, lors d'un défaut d'isolement, entre des parties simultanément accessibles.

NOTES

- 1 Par convention, ce terme n'est utilisé que dans le cadre de la protection contre les contacts indirects.
- 2 Dans certains cas, la valeur de la tension de contact peut être influencée notablement par l'impédance de la personne en contact avec ces parties.

Commentaires:

Les tensions de contact peuvent être mesurées par un voltmètre ayant la résistance interne de 3000 Ω . Une valeur moyenne de l'impédance du corps humain de 3000 Ω est réaliste pour de grandes surfaces de contact, pour un trajet du courant entre les deux mains et pour des tensions de l'ordre de quelques dizaines de volts.

Pour des tensions plus élevées, l'impédance du corps humain diminue et c'est pourquoi la valeur de 3000 Ω présente une marge de sécurité pour l'application de ces mesures.

La valeur de 3000 Ω est valable pour les personnes; pour les animaux, les valeurs sont à l'étude et devraient être de l'ordre de quelques centaines d'ohms.

Les tensions de contact par rapport au sol sont mesurées à l'aide d'une plaque métallique simulant les pieds de la personne.

B.1.2 *Tension de contact présumée* [VEI 826-02-03]

Tension de contact la plus élevée susceptible d'apparaître en cas de défaut d'impédance négligeable se produisant dans l'installation électrique.

Commentaires

La tension de contact présumée peut être mesurée avec un voltmètre ayant une résistance interne minimale de 40 000 Ω .

Une tension de contact présumée peut apparaître entre une masse et un élément conducteur, ou entre deux masses en défaut, si ces parties peuvent être touchées simultanément. Dans le dernier cas, la tension de contact présumée constitue une partie de la tension de défaut.