

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE



---

**Methods of measurement of touch current and protective conductor current**

**Méthodes de mesure du courant de contact et du courant dans le conducteur de protection**



## THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2016 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

Tel.: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00  
[info@iec.ch](mailto:info@iec.ch)  
[www.iec.ch](http://www.iec.ch)

### About the IEC

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

### About IEC publications

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

#### IEC Catalogue - [webstore.iec.ch/catalogue](http://webstore.iec.ch/catalogue)

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

#### IEC publications search - [www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)

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

#### IEC Just Published - [webstore.iec.ch/justpublished](http://webstore.iec.ch/justpublished)

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

#### Electropedia - [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 15 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

#### IEC Glossary - [std.iec.ch/glossary](http://std.iec.ch/glossary)

65 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

#### IEC Customer Service Centre - [webstore.iec.ch/csc](http://webstore.iec.ch/csc)

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: [csc@iec.ch](mailto:csc@iec.ch).

---

### A propos de l'IEC

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

### A propos des publications IEC

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

#### Catalogue IEC - [webstore.iec.ch/catalogue](http://webstore.iec.ch/catalogue)

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

#### Recherche de publications IEC - [www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)

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

#### IEC Just Published - [webstore.iec.ch/justpublished](http://webstore.iec.ch/justpublished)

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

#### Electropedia - [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 15 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

#### Glossaire IEC - [std.iec.ch/glossary](http://std.iec.ch/glossary)

65 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

#### Service Clients - [webstore.iec.ch/csc](http://webstore.iec.ch/csc)

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: [csc@iec.ch](mailto:csc@iec.ch).

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE



---

**Methods of measurement of touch current and protective conductor current**

**Méthodes de mesure du courant de contact et du courant dans le conducteur de protection**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

---

ICS 17.220, 35.020

ISBN 978-2-8322-3420-4

|                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.</b></p> <p><b>Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.</b></p> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## CONTENTS

|                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FOREWORD .....                                                                                                                    | 6  |
| INTRODUCTION .....                                                                                                                | 8  |
| 1 Scope .....                                                                                                                     | 10 |
| 2 Normative references .....                                                                                                      | 10 |
| 3 Terms and definitions .....                                                                                                     | 11 |
| 4 Test site .....                                                                                                                 | 11 |
| 4.1 Test site environment .....                                                                                                   | 11 |
| 4.2 Test transformer .....                                                                                                        | 12 |
| 4.3 Earthed neutral conductor .....                                                                                               | 12 |
| 5 Measuring equipment .....                                                                                                       | 13 |
| 5.1 Selection of measuring network .....                                                                                          | 13 |
| 5.1.1 General .....                                                                                                               | 13 |
| 5.1.2 Perception and startle-reaction .....                                                                                       | 14 |
| 5.1.3 Letgo-immobilization .....                                                                                                  | 14 |
| 5.1.4 Electric burn (a.c.) .....                                                                                                  | 14 |
| 5.1.5 Ripple-free d.c. ....                                                                                                       | 14 |
| 5.2 Test electrodes .....                                                                                                         | 15 |
| 5.2.1 Construction .....                                                                                                          | 15 |
| 5.2.2 Connection .....                                                                                                            | 15 |
| 5.3 Configuration .....                                                                                                           | 15 |
| 5.4 Power connections during test .....                                                                                           | 15 |
| 5.4.1 General .....                                                                                                               | 15 |
| 5.4.2 Equipment for use only on TN or TT star power distribution systems .....                                                    | 19 |
| 5.4.3 Equipment for use on IT power distribution systems including unearthed delta systems .....                                  | 19 |
| 5.4.4 Equipment for use on single-phase centre-earthed power supply systems or on centre-earthed delta power supply systems ..... | 20 |
| 5.5 Supply voltage and frequency .....                                                                                            | 20 |
| 5.5.1 Supply voltage .....                                                                                                        | 20 |
| 5.5.2 Supply frequency .....                                                                                                      | 20 |
| 6 Test procedure .....                                                                                                            | 20 |
| 6.1 General .....                                                                                                                 | 20 |
| 6.1.1 Touch current measurements .....                                                                                            | 20 |
| 6.1.2 Control switches, equipment and supply conditions .....                                                                     | 21 |
| 6.1.3 Use of measuring networks .....                                                                                             | 21 |
| 6.2 Normal and fault conditions of equipment .....                                                                                | 21 |
| 6.2.1 Normal operation of equipment .....                                                                                         | 21 |
| 6.2.2 Equipment and supply fault conditions .....                                                                                 | 21 |
| 7 Evaluation of results .....                                                                                                     | 23 |
| 7.1 Perception, startle-reaction and letgo-immobilization .....                                                                   | 23 |
| 7.2 Electric burn .....                                                                                                           | 23 |
| 8 Measurement of protective conductor current .....                                                                               | 23 |
| 8.1 General .....                                                                                                                 | 23 |
| 8.2 Multiple equipment .....                                                                                                      | 24 |
| 8.3 Measuring method .....                                                                                                        | 24 |

|                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Annex A (normative) Equipment.....                                                                                                       | 25 |
| Annex B (normative) Use of a conductive plane .....                                                                                      | 26 |
| Annex C (normative) Incidentally connected parts .....                                                                                   | 27 |
| Annex D (informative) Choice of current limits.....                                                                                      | 28 |
| D.1 General .....                                                                                                                        | 28 |
| D.2 Limit examples.....                                                                                                                  | 28 |
| D.2.1 Ventricular fibrillation .....                                                                                                     | 28 |
| D.2.2 Inability to letgo-immobilization .....                                                                                            | 28 |
| D.2.3 Startle-reaction .....                                                                                                             | 28 |
| D.2.4 Perception threshold .....                                                                                                         | 28 |
| D.2.5 Special applications .....                                                                                                         | 28 |
| D.3 Choice of limits .....                                                                                                               | 29 |
| D.4 Electric burn effects of touch current .....                                                                                         | 30 |
| Annex E (informative) Networks for use in measurement of touch current.....                                                              | 31 |
| E.1 General .....                                                                                                                        | 31 |
| E.2 Body impedance network – Figure 3.....                                                                                               | 31 |
| E.3 Startle-reaction (and body impedance) network – Figure 4.....                                                                        | 31 |
| E.4 Letgo-immobilization (and body impedance) network – Figure 5.....                                                                    | 32 |
| Annex F (informative) Measuring network limitations and construction.....                                                                | 33 |
| Annex G (informative) Construction and application of touch current measuring instruments .....                                          | 35 |
| G.1 Considerations for selection of components.....                                                                                      | 35 |
| G.1.1 General .....                                                                                                                      | 35 |
| G.1.2 Power rating and inductance for $R_S$ and $R_B$ .....                                                                              | 35 |
| G.1.3 Capacitor $C_S$ .....                                                                                                              | 35 |
| G.1.4 Resistors $R_1$ , $R_2$ and $R_3$ .....                                                                                            | 36 |
| G.1.5 Capacitors $C_1$ , $C_2$ and $C_3$ .....                                                                                           | 36 |
| G.2 Voltmeter .....                                                                                                                      | 36 |
| G.3 Accuracy.....                                                                                                                        | 36 |
| G.4 Calibration and application of measuring instruments .....                                                                           | 37 |
| G.5 Records .....                                                                                                                        | 37 |
| G.6 Confirmation systems.....                                                                                                            | 37 |
| Annex H (informative) Analysis of frequency filtered touch current circuit measurements.....                                             | 39 |
| Annex I (informative) AC power distribution systems (see 5.4).....                                                                       | 47 |
| I.1 General .....                                                                                                                        | 47 |
| I.2 TN power systems .....                                                                                                               | 48 |
| I.3 TT power systems.....                                                                                                                | 50 |
| I.4 IT power systems.....                                                                                                                | 51 |
| Annex J (informative) Routine and periodic touch current tests, and tests after repair or modification of mains operated equipment ..... | 53 |
| Annex K (normative) Network performance and calibration .....                                                                            | 54 |
| K.1 Network or instrument performance and initial calibration .....                                                                      | 54 |
| K.2 Calibration in a confirmation system.....                                                                                            | 56 |
| K.2.1 General .....                                                                                                                      | 56 |
| K.2.2 Measurement of input resistance.....                                                                                               | 56 |
| K.2.3 Measurement of instrument performance.....                                                                                         | 56 |
| Bibliography .....                                                                                                                       | 59 |

|                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1 – Example of earthed neutral, direct supply .....                                                               | 12 |
| Figure 2 – Example of earthed neutral, with transformer for isolation .....                                              | 13 |
| Figure 3 – Measuring network, unweighted touch current .....                                                             | 13 |
| Figure 4 – Measuring network, touch current weighted for perception or startle-reaction .....                            | 14 |
| Figure 5 – Measuring network, touch current weighted for letgo-immobilization .....                                      | 14 |
| Figure 6 – Single-phase equipment on star TN or TT system .....                                                          | 16 |
| Figure 7 – Single-phase equipment on centre-earthed TN or TT system .....                                                | 16 |
| Figure 8 – Single-phase equipment connected line-to-line on star TN or TT system .....                                   | 17 |
| Figure 9 – Single-phase equipment connected line-to-neutral on star IT system .....                                      | 17 |
| Figure 10 – Single-phase equipment connected line-to-line on star IT system .....                                        | 17 |
| Figure 11 – Three-phase equipment on star TN or TT system .....                                                          | 18 |
| Figure 12 – Three-phase equipment on star IT system .....                                                                | 18 |
| Figure 13 – Unearthed delta system .....                                                                                 | 19 |
| Figure 14 – Three-phase equipment on centre-earthed delta system .....                                                   | 19 |
| Figure A.1 – Equipment .....                                                                                             | 25 |
| Figure B.1 – Equipment platform .....                                                                                    | 26 |
| Figure F.1 – Frequency factor for electric burn .....                                                                    | 33 |
| Figure F.2 – Frequency factor for perception or startle-reaction .....                                                   | 33 |
| Figure F.3 – Frequency factor for letgo-immobilization .....                                                             | 34 |
| Figure H.1 – Triangular waveform touch current, startle-reaction .....                                                   | 40 |
| Figure H.3 – 1 ms rise time pulse response, startle-reaction .....                                                       | 41 |
| Figure H.4 – 1 ms rise time pulse response, letgo-immobilization .....                                                   | 41 |
| Figure H.5 – Touch current vs. rise time plot, 20 ms square wave .....                                                   | 42 |
| Figure H.6 – PFC SMPS touch current waveform .....                                                                       | 42 |
| Figure H.7 – 50 Hz square wave, 0,1 ms rise time, startle-reaction .....                                                 | 43 |
| Figure H.8 – 50 Hz square wave, 0,1 ms rise time, letgo-immobilization .....                                             | 43 |
| Figure H.9 – IEC TS 60479-2 let-go threshold for AC and DC combinations augmented by additional data, mA each axis ..... | 44 |
| Figure H.10 – Ex1 case: showing r.m.s. window .....                                                                      | 45 |
| Figure H.11 – Waveform ex2 case: showing r.m.s. window .....                                                             | 45 |
| Figure I.1 – Examples of TN-S power system .....                                                                         | 48 |
| Figure I.2 – Example of TN-C-S power system .....                                                                        | 49 |
| Figure I.3 – Example of TN-C power system .....                                                                          | 49 |
| Figure I.4 – Example of single-phase, 3-wire TN-C power system .....                                                     | 50 |
| Figure I.5 – Example of 3-line and neutral TT power system .....                                                         | 50 |
| Figure I.6 – Example of 3-line TT power system .....                                                                     | 51 |
| Figure I.7 – Example of 3-line (and neutral) IT power system .....                                                       | 51 |
| Figure I.8 – Example of 3-line IT power system .....                                                                     | 52 |
| Table H.1 – Triangular waveform response comparison .....                                                                | 40 |
| Table H.2 – Square wave touch current response .....                                                                     | 41 |

|                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Table H.3 – Square wave monopolar touch current response .....                                                                      | 43 |
| Table H.4 – Mixed ACnDC waveform evaluation, ex1 .....                                                                              | 45 |
| Table H.5 – Mixed ACnDC waveform evaluation, ex2 .....                                                                              | 46 |
| Table K.1 – Calculated input impedance and transfer impedance for unweighted touch current measuring network (Figure 3).....        | 54 |
| Table K.2 – Calculated input impedance and transfer impedance for startle-reaction touch current measuring network (Figure 4) ..... | 55 |
| Table K.3 – Calculated input impedance and transfer impedance for letgo-immobilization current measuring network (Figure 5).....    | 55 |
| Table K.4 – Output voltage to input voltage ratios for unweighted touch current measuring network (Figure 3) .....                  | 57 |
| Table K.5 – Output voltage to input voltage ratios for startle-reaction measuring network (Figure 4) .....                          | 57 |
| Table K.6 – Output voltage to input voltage ratios for letgo-immobilization measuring network (Figure 5) .....                      | 58 |

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**METHODS OF MEASUREMENT OF TOUCH CURRENT  
AND PROTECTIVE CONDUCTOR CURRENT**

## FOREWORD

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

International Standard IEC 60990 has been prepared by TC 108: Safety of electronic equipment within the field of audio/video, information technology and communication technology.

This third edition cancels and replaces the second edition published in 1999. It constitutes a technical revision.

The principal changes in this edition as compared with the second edition are as follows:

- the effects names have been updated to reflect increased understanding of the range of effects and is in concert with present usage;
- the conditions of use invoking a GRIPPABLE PART have been reduced in the application of the requirements based upon the current understanding of this effect;
- the references to ISO 10012-1, which has been replaced by management standard of the same number, have been replaced with explanatory text, where needed to maintain the sense of the document;

- former informative Annex H (GRIPPABLE PART) has been deleted from this update as it does not properly represent the full set of conditions under which immobilization can occur. A new informative Annex H (Analysis of frequency filtered touch current circuits measurement) has been added;
- the Bibliography (formerly Annex M) has been updated with additional references for completeness.

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

|              |                  |
|--------------|------------------|
| FDIS         | Report on voting |
| 108/630/FDIS | 108/640/RVD      |

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

In this standard, the following print types or formats are used:

- requirements proper and normative annexes: in roman type;
- compliance statements and test specifications: *in italic type*;
- notes/explanatory matter: in smaller roman type;
- normative conditions within tables: in smaller roman type;
- terms defined in Clause 3: SMALL CAPITALS.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC website under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

reconfirmed,

withdrawn,

replaced by a revised edition, or

amended.

**IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.**

## INTRODUCTION

This International Standard was developed as a response to concerns arising from the advent of electronic switching techniques being broadly applied to power systems and within EQUIPMENT, giving rise to high-frequency harmonic voltages and currents.

This standard is intended for the guidance of EQUIPMENT committees in preparing or amending the test specifications in their standards for measurement of leakage current. However the term "leakage current" is not used for reasons explained below.

This standard was initially prepared under the basic safety function assigned to TC 74 (now TC 108), as follows:

### Methods of measuring leakage current

This includes, for various types of EQUIPMENT, all aspects of what is referred to as "leakage current", including methods of measurement of current with regard to physiological effects and for installation purposes, under normal conditions and under certain fault conditions.

The methods of measurement of leakage current described herein result from the review of IEC TS 60479-1 and other publications, including descriptions of earlier methods of measurement.

The following conclusions were derived from a review of the effects of leakage current:

- the primary concern for safety involves possible flow of harmful current through the human body (this current is not necessarily equal to the current flowing through a protective conductor);
- the effect of electric current on a human body is found to be somewhat more complex than was assumed during the development of earlier standards in that there are several body responses which should be considered. The most significant responses for setting limits for continuous waveforms are
  - perception,
  - startle-reaction,
  - letgo-immobilization, and
  - ELECTRIC BURN.

Each of these four body responses has a unique threshold level. There are also significant differences in the manner in which some of these thresholds vary with frequency.

Two types of current have been identified as needing separate measuring methods: TOUCH CURRENT and PROTECTIVE CONDUCTOR CURRENT.

TOUCH CURRENT only exists when a human body or a body model is a current pathway.

It was also noted that the term "leakage current" has already been applied to several different concerns: TOUCH CURRENT, PROTECTIVE CONDUCTOR CURRENT, insulation properties, etc. Therefore, in this standard, the term "leakage current" is not used.

### Measurement of TOUCH CURRENT

In the past, EQUIPMENT standards have used two traditional techniques for measurement of leakage current. Either the actual current in the protective conductor was measured, or a simple resistor-capacitor network (representing a simple body model) was used, the leakage current being defined as the current through the resistor.

This standard provides measuring methods for the four body responses to the electric current noted above, using a more representative body model.

This body model was chosen for most common cases of electric shock in the general sense. With respect to the path of current flow and conditions of contact, a body model approximating full hand-to-hand or hand-to-foot contact in normal conditions is used. For small areas of contact (for example, small, finger contact), a different model may be appropriate but is not covered here.

Of the four responses, startle-reaction and letgo-immobilization are related to the peak value of TOUCH CURRENT and vary with frequency. Traditionally, concerns for electric shock have dealt with sinusoidal waveforms, for which r.m.s. measurements are most convenient. Peak measurements are more appropriate for non-sinusoidal waveforms where significant values of TOUCH CURRENT are expected, but are equally suitable for sinusoidal waveforms. The networks specified for the measurement of startle-reaction and letgo-immobilization are frequency-responsive and are so weighted that single limit power-frequency values can be specified and referenced.

ELECTRIC BURNS, however, are related to the r.m.s. value of TOUCH CURRENT, and are relatively independent of frequency. For EQUIPMENT where ELECTRIC BURNS may be of concern (see 7.2), two separate measurements are made, one in peak value for electric shock and a second in r.m.s. value for ELECTRIC BURNS each using the appropriate test circuit.

EQUIPMENT committees should decide which physiological effects are acceptable and which are not, and then decide on limit values of current. Committees for certain types of EQUIPMENT may adopt simplified procedures based upon this standard. A discussion of limit values, based upon earlier work by various IEC EQUIPMENT committees, is provided in Annex D.

#### Measurement of PROTECTIVE CONDUCTOR CURRENT

In certain cases, measurement of the PROTECTIVE CONDUCTOR CURRENT of EQUIPMENT under normal operating conditions is required. Such cases include:

- selection of a residual current protection device,
- determination when a high integrity protective earth circuit is required,
- prevent excessive PROTECTIVE CONDUCTOR CURRENT overload in the electrical installation.

The PROTECTIVE CONDUCTOR CURRENT is measured by inserting an ammeter of negligible impedance in series with the EQUIPMENT protective earthing conductor.

## METHODS OF MEASUREMENT OF TOUCH CURRENT AND PROTECTIVE CONDUCTOR CURRENT

### 1 Scope

This International Standard defines measurement methods for

- d.c. or a.c. current of sinusoidal or non-sinusoidal waveform, which could flow through the human body, and
- current flowing through a protective conductor.

The measuring methods recommended for TOUCH CURRENT are based upon the possible effects of current flowing through a human body. In this standard, measurements of current through networks representing the impedance of the human body are referred to as measurements of TOUCH CURRENT. These networks are not necessarily valid for the bodies of animals.

The specification or implication of specific limit values is not within the scope of this standard. IEC TS 60479 series provides information regarding the effects of current passing through the human body from which limit values may be derived.

This standard is applicable to all classes of EQUIPMENT, according to IEC 61140.

The methods of measurement in this standard are not intended to be used for

- TOUCH CURRENTS having less than 1 s duration,
- patient currents as defined in IEC 60601-1,
- a.c. at frequencies below 15 Hz, and
- currents above those chosen for ELECTRIC BURN limits.

This basic safety publication is primarily intended for use by technical committees in the preparation of standards in accordance with the principles laid down in IEC Guide 104 and ISO/IEC Guide 51. It is not intended for use by manufacturers or certification bodies independent of product standards.

One of the responsibilities of a technical committee is, wherever applicable, to make use of basic safety publications in the preparation of its publications. The requirements, test methods or test conditions of this basic safety publication only apply when specifically referred to or included in the relevant publications.

### 2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC TS 60479-1:2005, *Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General aspects*

IEC TS 60479-2:2007, *Effects of current on human beings and livestock – Part 2: Special aspects*

IEC 61140, *Protection against electric shock – Common aspects for installation and equipment*

ISO/IEC Guide 51:2014, *Safety aspects – Guidelines for their inclusion in standards*

IEC Guide 104:2010, *The preparation of safety publications and the use of basic safety publications and group safety publications*

### 3 Terms and definitions

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

#### 3.1

##### **TOUCH CURRENT**

electric current through a human body or through an animal body when it touches one or more accessible parts of an installation or of EQUIPMENT

[SOURCE: IEC 60050-195:1998, 195-05-21]

#### 3.2

##### **PROTECTIVE CONDUCTOR CURRENT**

current which flows in a protective conductor

#### 3.3

##### **EQUIPMENT**

organized collection of electromechanical component parts and features to accomplish a defined task (as specified in the relevant product standard).

Note 1 to entry: If not specified in the relevant standard, see Annex A.

#### 3.4

##### **GRIPPABLE PART**

part of the EQUIPMENT which could supply current through the human hand to cause muscular contraction around the part and an inability to let go

Note 1 to entry: Parts which are intended to be gripped with the entire hand are assumed to be grippable without further investigation.

#### 3.5

##### **ELECTRIC BURN**

burning of the skin or of an organ, caused by passing an electric current across or through the surface

[SOURCE: IEC 60050-604:1987, 604-04-18]

### 4 Test site

#### 4.1 Test site environment

Test site environmental requirements shall be as specified in the EQUIPMENT standard. If limit values of less than 70  $\mu\text{A}$  r.m.s. or 100  $\mu\text{A}$  peak are specified, or if the EQUIPMENT contains large shields which may be driven by high-frequency signals, product committees shall refer to Annex B.

## 4.2 Test transformer

The use of a test transformer for isolation is optional. For maximum safety, a test transformer for isolation (T2 in Figure 2, T in Figure 6 to Figure 14) shall be used and the main protective earthing terminal of the EQUIPMENT under test (EUT) earthed. Any capacitive leakage in the transformer shall then be taken into account. As an alternative to earthing the EUT, the test transformer secondary and the EUT shall be left floating (not earthed), in which case the capacitive leakage in the test transformer need not be taken into account.

If transformer T is not used, the EUT shall be mounted on an insulating stand and appropriate safety precautions taken, in view of the possibility of the body of the EUT being at hazardous voltage.

## 4.3 Earthed neutral conductor

EQUIPMENT intended for connection to a TT or TN power distribution system shall be tested with minimum voltage between neutral and earth.

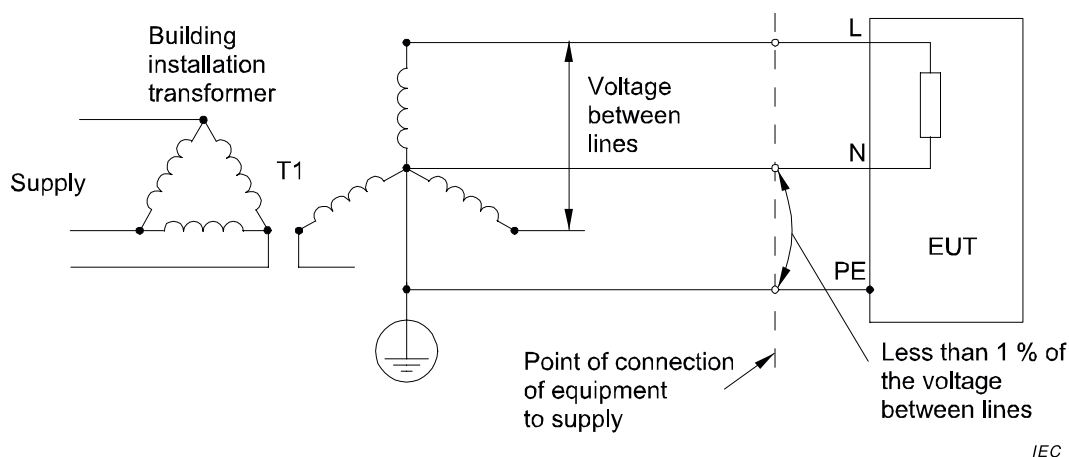
NOTE Descriptions of various power distribution systems are given in Annex I.

The protective conductor and the earthed neutral conductor for the EUT should have a voltage difference of less than 1 % of line-to-line voltage (see example in Figure 1).

A local transformer, see 4.2, will achieve this requirement.

Alternatively, if the voltage difference is 1 % or more, the following are examples of methods which, in some cases, will avoid measurement errors due to this voltage:

- connecting the terminal B electrode of the measuring instrument network to the neutral terminal of the EUT instead of the protective earthing conductor (see 6.1.2) of the supply;
- connecting the earthing terminal of the EUT to the neutral conductor, instead of the protective earthing conductor, of the supply.



IEC

Figure 1 – Example of earthed neutral, direct supply

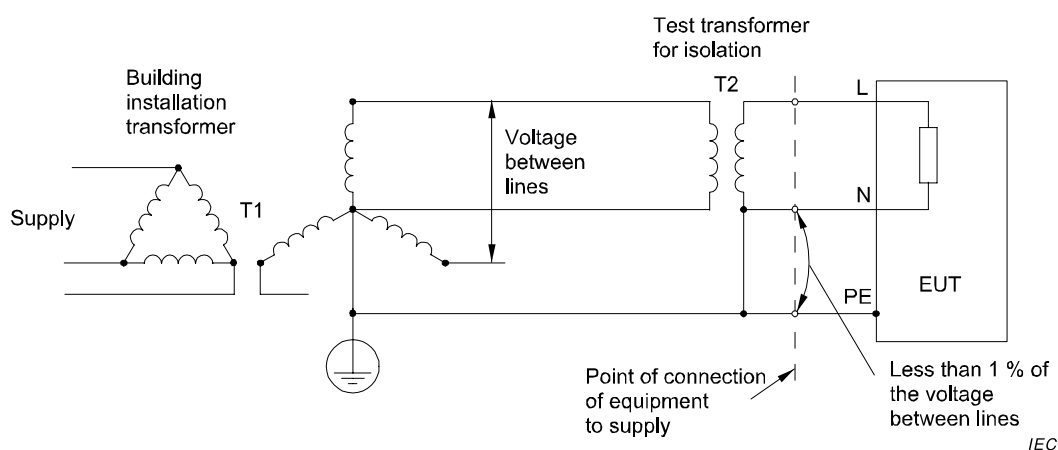


Figure 2 – Example of earthed neutral, with transformer for isolation

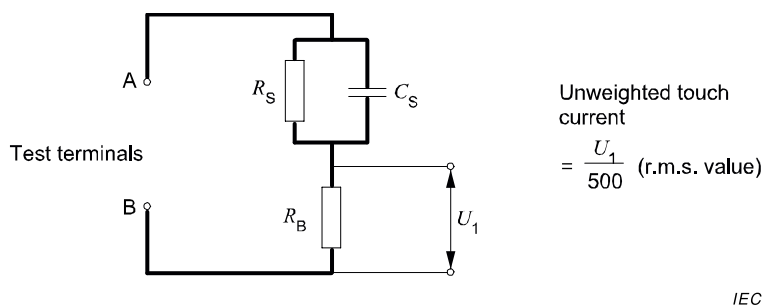
## 5 Measuring equipment

### 5.1 Selection of measuring network

#### 5.1.1 General

Measurements shall be made with one of the networks of Figure 3, Figure 4 and Figure 5.

NOTE See Annexes E, F and G for further explanation of the three networks.

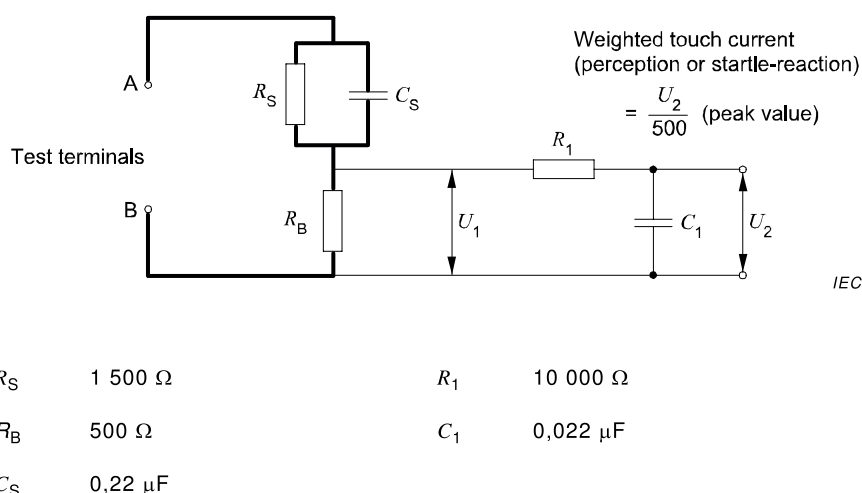


$$R_S = 1\,500\ \Omega$$

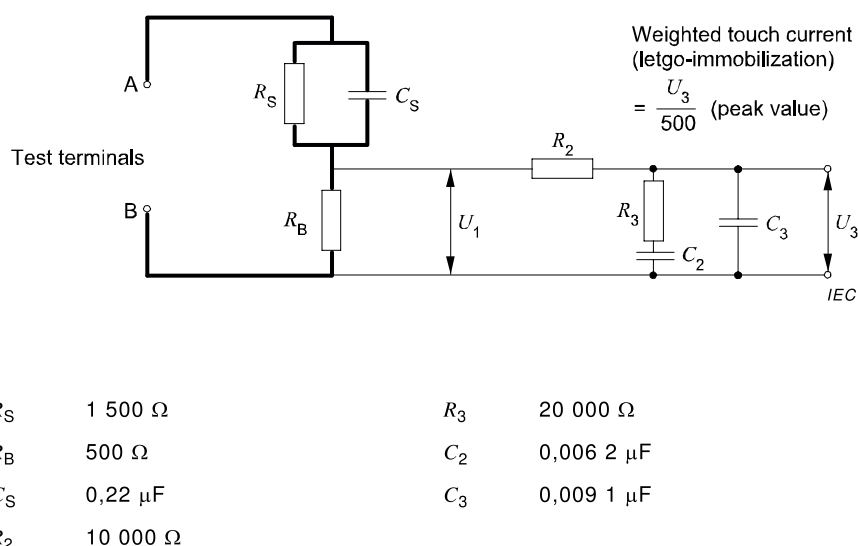
$$R_B = 500\ \Omega$$

$$C_S = 0,22\ \mu\text{F}$$

Figure 3 – Measuring network, unweighted touch current



**Figure 4 – Measuring network, touch current weighted for perception or startle-reaction**



NOTE For special conditions on the use of this network, see 5.1.2.

**Figure 5 – Measuring network, touch current weighted for letgo-immobilization**

### 5.1.2 Perception and startle-reaction

The network of Figure 4 shall be used for low level electric shock limits. This circuit is to be applied where the a.c. limit value in the product standard is up to 2 mA r.m.s. or 2,8 mA peak.

### 5.1.3 Letgo-immobilization

The network of Figure 5 shall be used for higher level electric shock limits. This circuit is to be applied where the a.c. limit value in the product standard is more than 2 mA r.m.s. or 2,8 mA peak.

### 5.1.4 Electric burn (a.c.)

The unweighted TOUCH CURRENT network of Figure 3 shall be used.

### 5.1.5 Ripple-free d.c.

Any one of the three networks shall be used. Unless otherwise specified in the EQUIPMENT standard, ripple-free d.c. means less than 10 % peak-to-peak ripple.

## **5.2 Test electrodes**

### **5.2.1 Construction**

Unless otherwise specified in the EQUIPMENT standard, the test electrodes shall be

- a test clip, or
- a 10 cm × 20 cm metal foil to represent the human hand. Where adhesive metal foil is used, the adhesive shall be conductive.

### **5.2.2 Connection**

Test electrodes shall be connected to test terminals A and B of the measuring network.

## **5.3 Configuration**

The EQUIPMENT under test (EUT) shall be fully assembled and ready for use in the maximum configuration; it shall be connected to external signal voltages where applicable, as specified by the manufacturer for a single EQUIPMENT.

EQUIPMENT which is designed for multiple power sources, only one of which is required at a time (for example, for backup), shall be tested with only one source connected.

EQUIPMENT requiring power simultaneously from two or more power sources shall be tested with all power sources connected but with not more than one connection to protective earth.

## **5.4 Power connections during test**

### **5.4.1 General**

NOTE Examples of power distribution systems are given in Annex I.

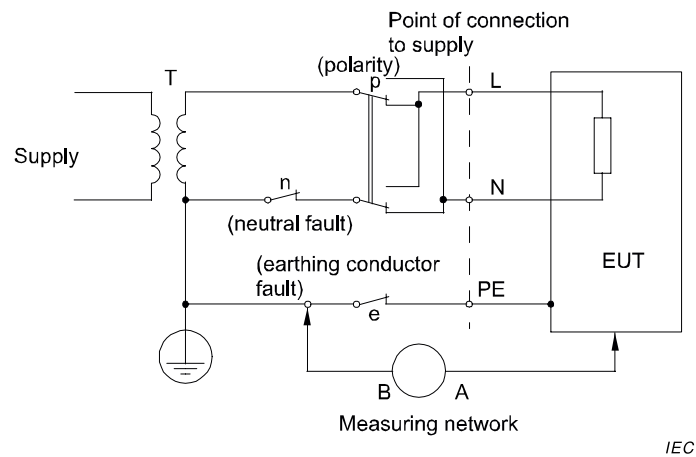
EQUIPMENT shall be connected in a test configuration as shown in Figure 6 to Figure 14, according to 5.4.2, 5.4.3 or 5.4.4, as appropriate.

EQUIPMENT committees should consider the possible need for the manufacturer to identify the power distribution system (TN, TT, IT) to which an EQUIPMENT is intended to be connected in its final application.

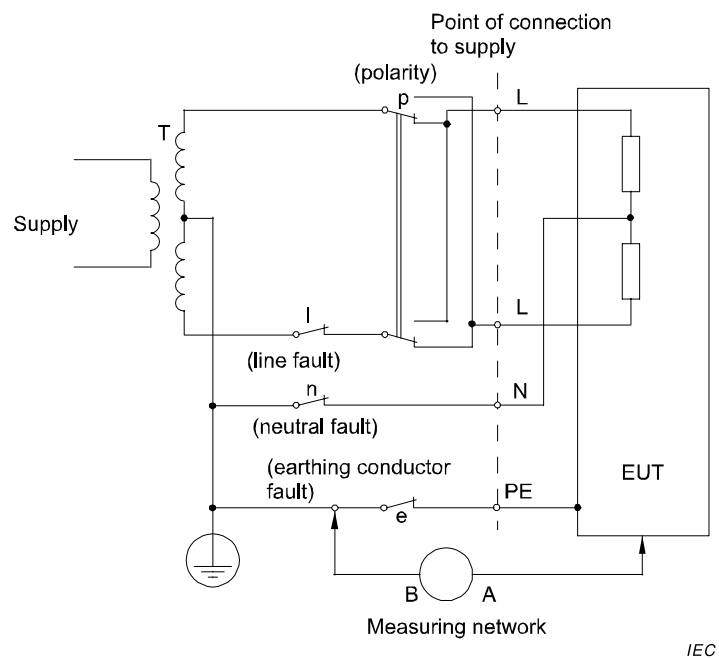
If the EUT is specified by the manufacturer for use only on certain power distribution systems, the EUT shall be tested only when connected to those systems.

EQUIPMENT to be connected only to TN or TT systems shall comply with 5.4.2. EQUIPMENT to be connected to IT systems shall comply with 5.4.3 and may also be connected to TN or TT systems.

For Class 0 and Class II EQUIPMENT (see IEC 61140), the protective conductors in Figure 6 through Figure 14 are ignored.

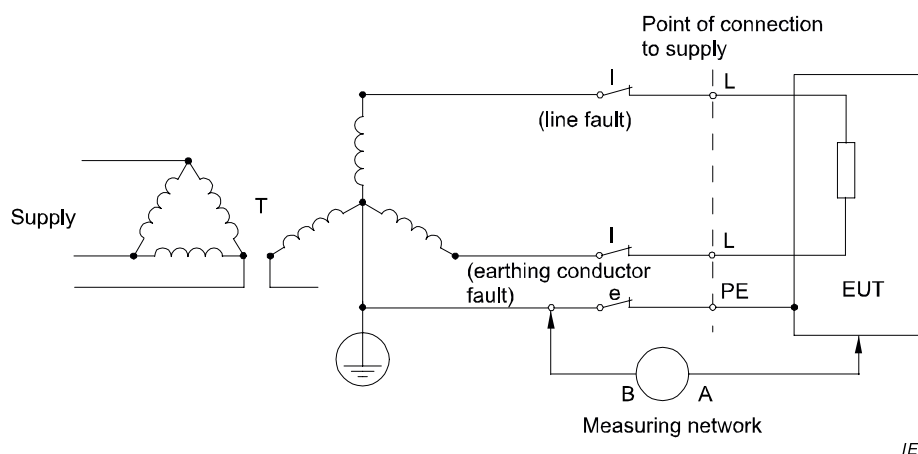


**Figure 6 – Single-phase equipment on star TN or TT system**

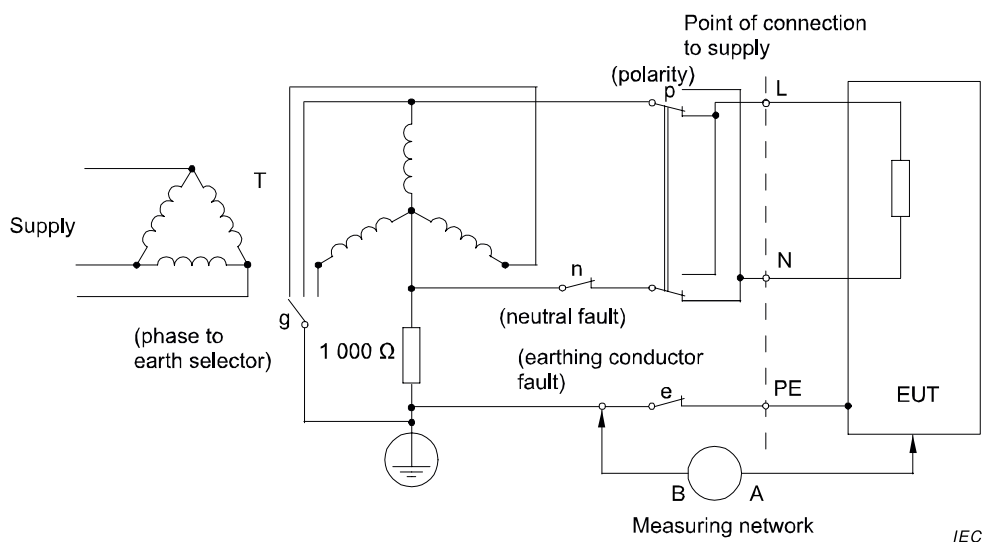


The centre-tapped winding may be one leg of a delta supply.

**Figure 7 – Single-phase equipment on centre-earthed TN or TT system**

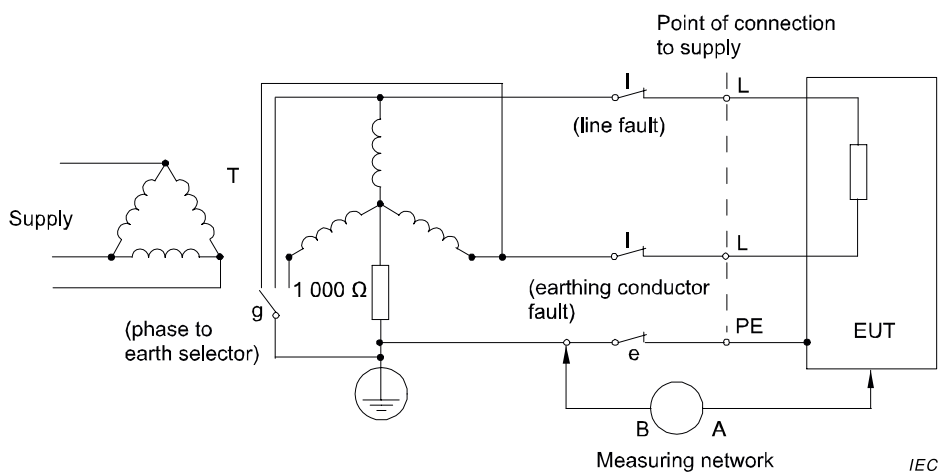


**Figure 8 – Single-phase equipment connected line-to-line on star TN or TT system**



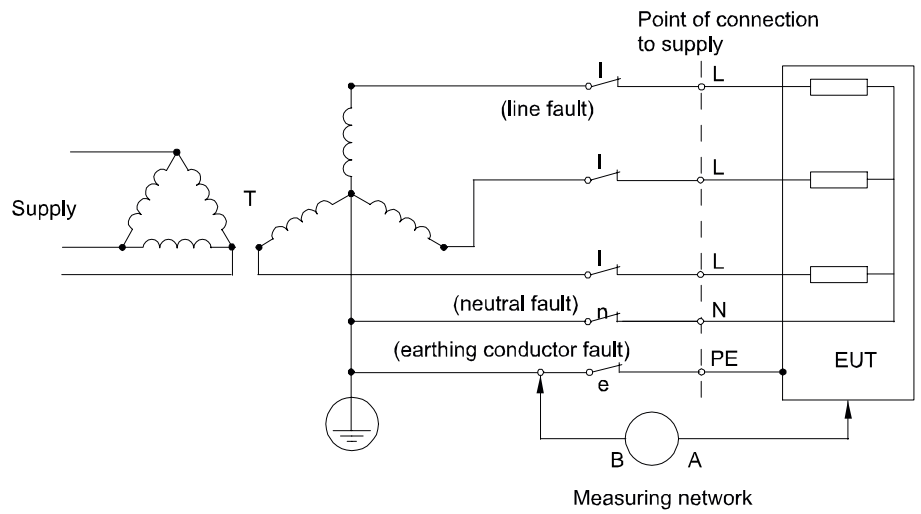
The 1 000 Ω resistor should be rated for supply system faults.

**Figure 9 – Single-phase equipment connected line-to-neutral on star IT system**

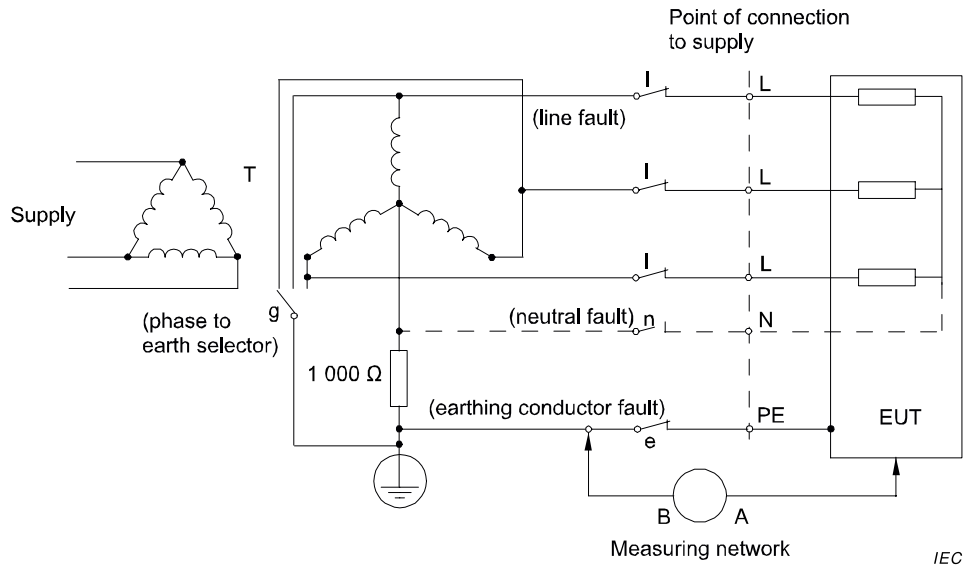


The 1 000 Ω resistor should be rated for supply system faults.

**Figure 10 – Single-phase equipment connected line-to-line on star IT system**

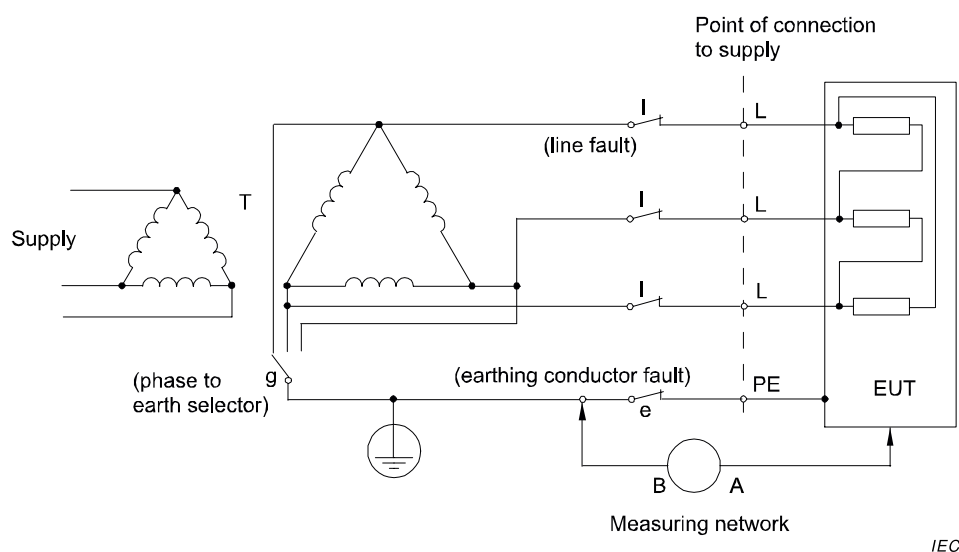


**Figure 11 – Three-phase equipment on star TN or TT system**

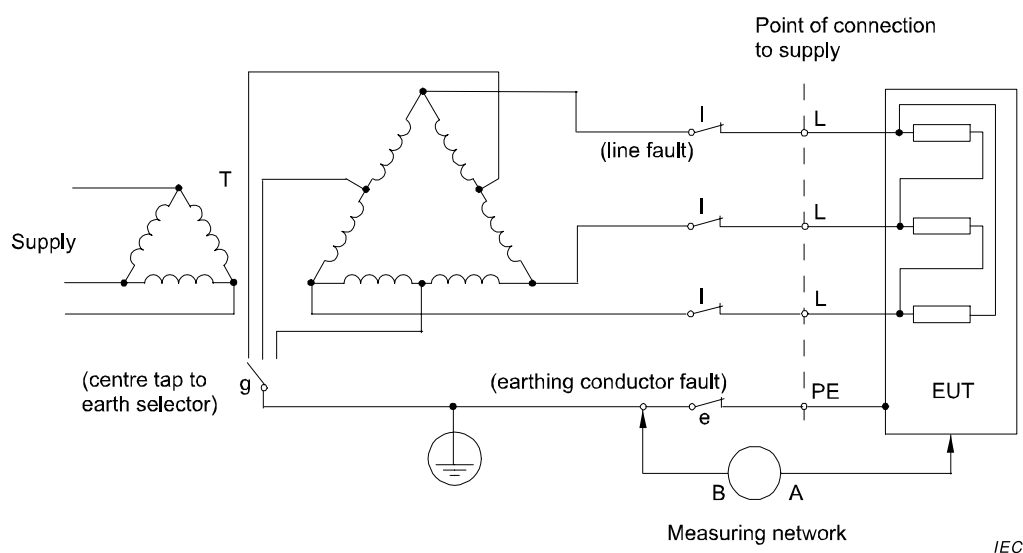


The 1 000 Ω resistor should be rated for supply system faults.

**Figure 12 – Three-phase equipment on star IT system**



### Figure 13 – Unearthed delta system



**Figure 14 – Three-phase equipment on centre-earthed delta system**

#### 5.4.2 Equipment for use only on TN or TT star power distribution systems

Three-phase EQUIPMENT shall be connected to a three-phase star power distribution system, with earthed neutral. Single-phase EQUIPMENT shall be connected between phase and neutral of an earthed neutral power distribution system or, where specified by the manufacturer to operate in such a manner, line-to-line on a centre-earthed three-phase star power distribution system (see Figure 6, Figure 8 and Figure 11).

#### 5.4.3 Equipment for use on IT power distribution systems including unearthed delta systems

Three-phase EQUIPMENT shall be connected to an appropriate three-phase IT power supply system. Single-phase EQUIPMENT shall be connected between phase and neutral or, where specified by the manufacturer to operate in such a manner, line-to-line (see Figure 9, Figure 10, Figure 12 and Figure 13).

#### **5.4.4 Equipment for use on single-phase centre-earthed power supply systems or on centre-earthed delta power supply systems**

Single-phase EQUIPMENT shall be connected to a supply having its centre tap earthed (see Figure 7 and Figure 14).

Three-phase EQUIPMENT shall be connected to the appropriate delta supply (see Figure 14).

### **5.5 Supply voltage and frequency**

#### **5.5.1 Supply voltage**

Supply voltage shall be measured at the EQUIPMENT supply terminals.

Traditionally, TOUCH CURRENT was at its maximum at the highest supply voltage. Modern electronic power supplies will not always provide maximum TOUCH CURRENT under this supply condition. TOUCH CURRENT may be maximized at the lowest voltage, i.e. maximum current draw, or under some other condition. Electric shock protection shall be provided under the worst case operating condition.

EQUIPMENT rated for a single voltage shall be tested at its rated voltage plus an appropriate working tolerance to allow for supply variations.

EQUIPMENT rated for a nominal voltage range shall be tested at the extremes of the voltage range, plus an appropriate working tolerance to allow for supply variations. The working tolerance is determined by the EQUIPMENT committee or by the manufacturer if necessary (for example, 0 %, -10 %/+6 % or +10 %).

EQUIPMENT rated for different nominal voltages or voltage ranges, using a voltage selector, shall be set for the highest nominal voltage or voltage range and then treated as above. Where voltage selection involves more complex switching than a rearrangement of transformer windings, additional tests may be necessary to determine the worst case.

If it is inconvenient to test EQUIPMENT at the specified voltage, it is permitted to test it at any available voltage within the rating of the EQUIPMENT and then calculate the results.

#### **5.5.2 Supply frequency**

Supply frequency shall be the maximum rated nominal frequency, or alternatively, measurements may be corrected by calculation for estimation of the worst case current.

## **6 Test procedure**

### **6.1 General**

#### **6.1.1 Touch current measurements**

Product committees may wish to exclude measurement of TOUCH CURRENT at some accessible parts, based upon the principle of limitation of voltage (see IEC 60364-4-41). If so, measurements shall be made for accessible voltage and then, if required, for weighted or unweighted TOUCH CURRENT according to Clause 6.

Concern for ELECTRIC BURN effects may arise with d.c. or at high frequencies (for example, above 30 kHz for 3,5 mA TOUCH CURRENT). At lower frequencies, startle-reaction and letgo-immobilization will be the dominant considerations. Where there is such a concern, the unweighted r.m.s. value of TOUCH CURRENT shall be measured (Figure 3), in addition to measurement for either startle-reaction (Figure 4), or inability to let go (Figure 5).

### **6.1.2 Control switches, equipment and supply conditions**

During TOUCH CURRENT measurements, the test environment, configuration, earthing and supply system shall be according to 5.3, 5.4 and 5.5.

In order to maximize the current values during measurements, the configuration shall be varied by connection and disconnection of units that are part of the EQUIPMENT, as permitted by the manufacturer's operating and installation instructions.

Control switches e, g, l, n and p in Figure 6 to Figure 14 shall be manipulated as described in 6.2, while the conditions listed in this subclause and 6.2.1 are independently varied so as to give the maximum measured value or values. Product committees shall make an appropriate selection of these variables. Recent addition of ABNORMAL OPERATION as an operating condition in product standards as related to the electrical installation (e.g. the loss of PE or the inability to ensure polarity of supply) clarifies the test conditions under NORMAL operation and FAULT CONDITIONS to then be applied.

### **6.1.3 Use of measuring networks**

Appropriate measuring electrodes (see 5.2), measuring network (see 5.1) and measuring device (see G.4) shall be used in accordance with the appropriate systems of Figure 6 to Figure 14 (see 5.4) to make measurements of TOUCH CURRENT between simultaneously accessible parts, and between accessible parts and earth.

The terminal A electrode shall be applied to each accessible part in turn.

For each application of the terminal A electrode, the terminal B electrode shall be applied to earth, then applied to each of the other accessible parts in turn.

For power systems with an earthed power conductor, the terminal B electrode may be connected directly to the earthed power conductor at the interface of the EUT and the power supply, instead of being connected to the protective conductor. This connection may be used even though the voltage difference between the protective conductor and the earthed power conductor is more than 1 % of the line-to-line voltage (see 4.2).

## **6.2 Normal and fault conditions of equipment**

### **6.2.1 Normal operation of equipment**

The test is carried out with terminal A of the measuring network connected to each unearthed or conductive accessible part and circuit in turn, with all test switches l, n and e closed.

Measurements shall be made in all applicable conditions of normal operation.

Examples of normal operation include mains switch on, mains switch off, standby, start-up, heating and any setting of operator controls except supply-voltage-setting controls.

Single-phase EQUIPMENT shall be tested in normal and reverse polarity (switch p).

Three-phase EQUIPMENT shall be tested with phase reversals, unless EQUIPMENT operation is dependent on phasing.

### **6.2.2 Equipment and supply fault conditions**

#### **6.2.2.1 General**

For EQUIPMENT having no connection to earth, 6.2.2 does not apply.

For EQUIPMENT having a protective earthing connection or a functional earthing connection, terminal A of the measuring network is connected to the EQUIPMENT earthing terminal of the EUT.

Measurements shall be made with each of the applicable fault conditions specified in 6.2.2.2 to 6.2.2.9. The faults shall be applied one at a time, but shall include any faults which are a logical result of the first fault. Before applying any fault, the EQUIPMENT shall be restored to its original condition (for example, without faults or consequential damage).

Where a balanced line filter is used on three-phase EQUIPMENT, the net current to earth is theoretically zero. However, it is normal for component and voltage unbalance to produce a finite value of net current, the maximum value of which may not be measured during type testing. Larger unbalanced currents will result from a failed capacitor in one phase. EQUIPMENT committees should consider including a test for such EQUIPMENT, involving the substitution of a deliberately faulted filter (one capacitor removed), together with a loss of protective earth connection (see 6.2.2.2).

Similar considerations apply to a balanced arrangement of other components, such as surge arrestors, connected between mains and earth.

Three-phase EQUIPMENT shall be tested with phase reversals unless EQUIPMENT operation is dependent on phasing.

#### **6.2.2.2 Fault condition No. 1**

Depending on the kind of EQUIPMENT, several safety degrees of the protective conductor are to be distinguished (see IEC 61140).

Single-phase EQUIPMENT not reliably earthed shall be tested with loss of protective earth connection (switch e) in combination with normal and reverse polarity (switch p).

Three-phase EQUIPMENT not reliably earthed shall be tested with loss of protective earth connection (switch e).

Unless decided otherwise by the product committee, the requirements of this subclause do not apply to reliably earthed EQUIPMENT which is connected to the supply either permanently, or by means of plugs and sockets which are of industrial grade (for example, connectors specified in IEC 60309-1 or a comparable national standard).

#### **6.2.2.3 Fault condition No. 2**

Single-phase EQUIPMENT shall be tested with neutral open (switch n), with earth intact and in normal polarity, and again in reverse polarity (switch p).

#### **6.2.2.4 Fault condition No. 3**

EQUIPMENT for use on IT systems shall be tested with each phase conductor faulted to earth, one at a time (switch g).

#### **6.2.2.5 Fault condition No. 4**

Three-phase EQUIPMENT shall be tested with each phase conductor open, one at a time (switches l).

#### **6.2.2.6 Fault condition No. 5**

Single-phase EQUIPMENT for use on IT power systems or on three-phase delta systems shall be tested with a three-phase power system, with each phase faulted to earth, one at a time

(switch g), in combination with normal and reverse polarity (switch p) and separately with each phase conductor open one at a time (switches l), and in combination with normal and reverse polarity (switch p).

#### **6.2.2.7 Fault condition No. 6**

Three-phase EQUIPMENT for use on centre-earthed delta supply systems shall be tested on a delta supply system with each delta-leg centre-earthed, one at a time (switch g).

EQUIPMENT containing both three-phase and centre-earthed circuits which cannot be installed independently and which have an identified earthed leg shall be tested with switch g on the identified earth-leg position only.

#### **6.2.2.8 Fault condition No. 7**

Other faults as specified by the product committee shall be simulated if they are likely to increase TOUCH CURRENT.

#### **6.2.2.9 Fault condition No. 8**

Accessible conductive parts which are only incidentally electrically connected to other parts shall be tested both when connected electrically to the other part(s) and when disconnected electrically from the other part(s). See Annex C regarding incidentally connected parts.

### **7 Evaluation of results**

#### **7.1 Perception, startle-reaction and letgo-immobilization**

Voltages  $U_2$  and  $U_3$  of Figure 4 and Figure 5 are frequency-weighted values of  $U_1$ , such that a single, low-frequency equivalent indication of TOUCH CURRENT results for all frequencies present above 15 Hz. These weighted values of TOUCH CURRENT are taken as the highest values of  $U_2$  and  $U_3$  measured during the procedure of Clause 6, divided by 500  $\Omega$ . The maximum values are compared with the limits for perception or startle-reaction and letgo-immobilization specified for the EQUIPMENT (for example, a 50 Hz or 60 Hz limit value).

Measurements for d.c. limits are made in a like manner, but taken as  $U_1$  divided by 500  $\Omega$  (see also Annex G).

#### **7.2 Electric burn**

Where there is concern for ELECTRIC BURN effects (see 6.1), the unweighted r.m.s. or d.c. value of TOUCH CURRENT is measured. This is calculated from the r.m.s. voltage  $U_1$ , measured across the 500  $\Omega$  resistor of the measuring network of Figure 3.

The effect of TOUCH CURRENT is also related to the area of contact with the human body and the duration of contact. The relationship between these parameters and the establishment of TOUCH CURRENT limits are not in the scope of this standard (see also Clause D.3).

NOTE ELECTRIC BURNS result from the power dissipated as current flows through the resistance of the human skin and body. Other forms of burn can result from electrical EQUIPMENT, for example due to arcing or the by-products of arcing.

### **8 Measurement of protective conductor current**

#### **8.1 General**

Current requirements and values for protective conductors are not related to TOUCH CURRENT concerns and, therefore, such limits and methods of measurement are dealt with separately.

## **8.2 Multiple equipment**

Within any shared earthing system, the PROTECTIVE CONDUCTOR CURRENTS of individual EQUIPMENT combine in a non-arithmetic manner. Therefore, THE PROTECTIVE CONDUCTOR CURRENT of a group OF EQUIPMENT earthed by a single protective earthing conductor cannot be reliably predicted from knowledge of individual EQUIPMENT PROTECTIVE CONDUCTOR CURRENTS. Consequently, measurements made on individual EQUIPMENT are of limited use, and the PROTECTIVE CONDUCTOR CURRENT for that group of EQUIPMENT shall be measured in the shared protective earthing conductor.

## **8.3 Measuring method**

The installation PROTECTIVE CONDUCTOR CURRENT shall be measured after installation by inserting an ammeter of negligible impedance (for example,  $0,5\ \Omega$ ) in series with the protective conductor. Measurement of PROTECTIVE CONDUCTOR CURRENT is made with the EQUIPMENT and power distribution system running in all normal operating modes.

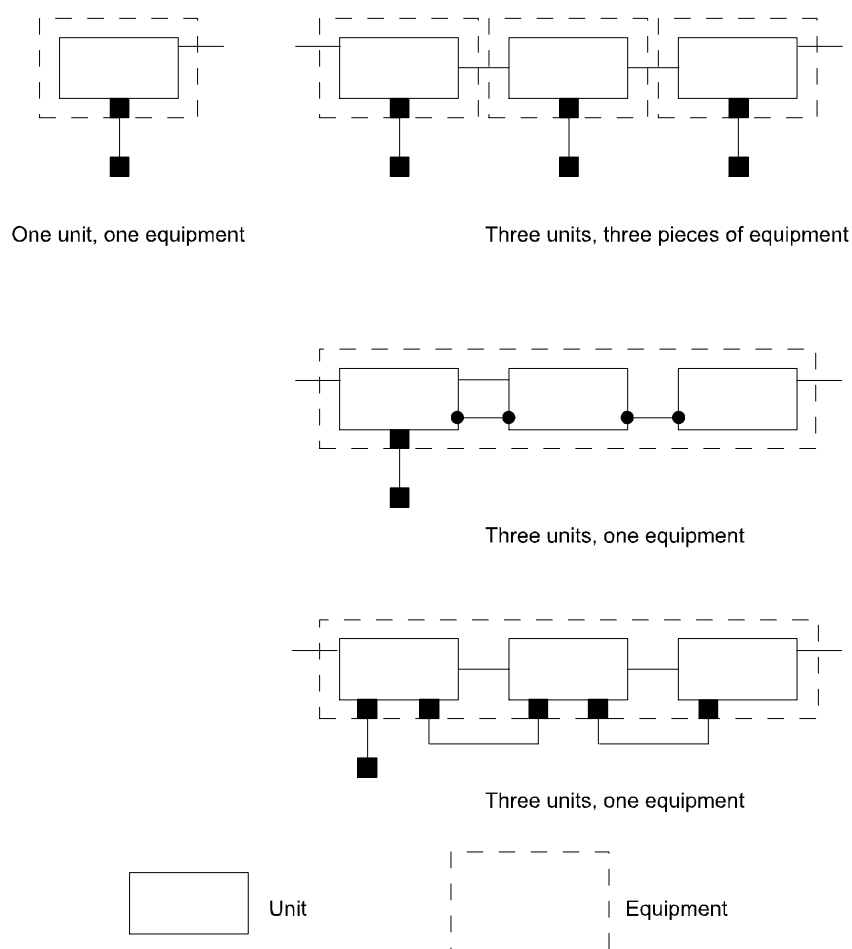
## Annex A (normative)

### Equipment

Unless otherwise defined in the EQUIPMENT standard, an EQUIPMENT is identified as having a single connection to a supply of electricity.

An EQUIPMENT may be a single unit or may consist of physically separate, electrically interconnected units (see Figure A.1). The source of electricity may be contained within the EQUIPMENT (for example, solar or battery power).

The connection of signal cables shall be considered as part of the EQUIPMENT, in accordance with 5.4.



IEC

#### Key

- — ■ Supply connection compatible with local supply
- — ● Supply connection not designed to be connected directly to local supply
- Other connections

**Figure A.1 – Equipment**

## Annex B (normative)

### Use of a conductive plane

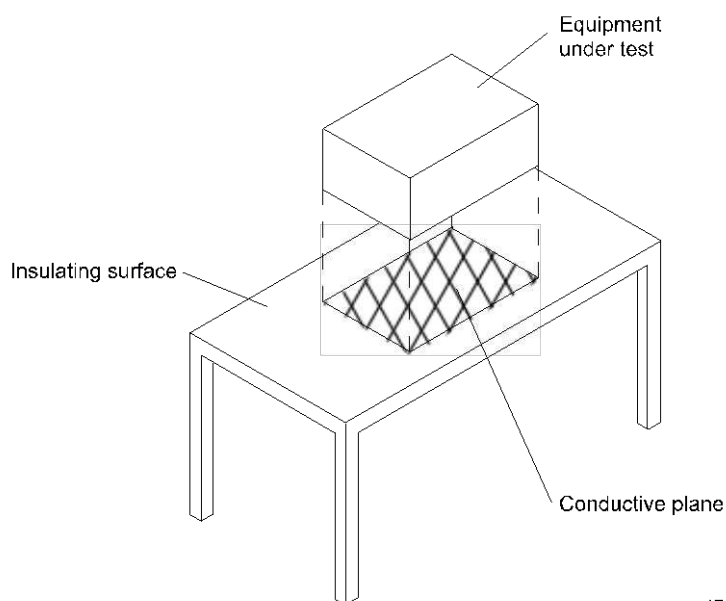
Where limits for TOUCH CURRENT (with or without frequency weighting) less than 70  $\mu\text{A}$  r.m.s. or 100  $\mu\text{A}$  peak are specified, or where an EQUIPMENT is tested that has large capacitive coupling to outer surfaces which may be driven at high frequencies (for example, high-frequency signal generators and voltage measuring instruments), it is appropriate to measure the current which is coupled capacitively into a conductive surface placed beneath or against a surface of the EQUIPMENT. If the EQUIPMENT is to be tested in this manner, it shall be placed on a conductive plane which is in turn placed on an insulating surface (see Figure B.1).

The conductive plane shall be equal to or greater than the adjacent EQUIPMENT surface in area and perimeter.

Measurements shall be according to Clause 6, with the conductive plane tested as an accessible part.

The measurements shall be repeated with the conductive plane placed against any other surface of the EQUIPMENT which may become adjacent to an outside conductive plane.

For purposes of isolation from electromagnetic interference, it may be necessary to place the EQUIPMENT (including the conductive plane, if used) 0,5 m or more from other conductors or EQUIPMENT.



IEC

**Figure B.1 – Equipment platform**

## **Annex C**

(normative)

### **Incidentally connected parts**

Incidentally connected parts are accessible conductive parts which are neither reliably connected to, nor positively isolated from, earth or any specified voltage.

Examples of incidentally connected parts include

- doors and assemblies attached by metal hinges,
- adhesively-bonded labels which have an accessible conductive part (for example, metal foil),
- parts which are attached to painted or anodised surfaces,
- control handles.

Some production samples of the EQUIPMENT may have an incidentally connected part effectively connected to earth or to another circuit. In other samples, the same part may be isolated from earth and other circuits. Since, in general, it is not clear which case will produce the higher TOUCH CURRENT, 6.2.2 requires TOUCH CURRENT to be measured for both cases in order to find the worst case. However, where the predominant frequency is below 100 Hz, the worst case is most likely to be that in which the incidentally connected part is connected to the other parts.

## **Annex D** (informative)

### **Choice of current limits**

#### **D.1 General**

When drafting the procedures specified in this standard, certain assumptions were made about the current limits which product committees would use. This was necessary in order to select the appropriate data from IEC TS 60479-1 for design of the measuring networks in Figure 3, Figure 4 and Figure 5.

These assumptions were based on earlier IEC publications. Current values given in this annex are examples only. They are given below for the assistance of product committees when selecting current limits.

#### **D.2 Limit examples**

##### **D.2.1 Ventricular fibrillation**

No limit assumed.

It is assumed that the limits chosen for TOUCH CURRENTS will be well below the threshold for ventricular fibrillation.

##### **D.2.2 Inability to letgo-immobilization**

The method of measurement is specified in this standard.

IEC TS 60479-1 assumes 10 mA r.m.s. as the approximate average threshold level of letgo-immobilization current, whereas 5 mA r.m.s. as proposed for IEC TS 60479-1, would include the entire adult population. See Figure F.3 for the effects of frequency.

##### **D.2.3 Startle-reaction**

The method of measurement is specified in this standard.

The startle-reaction threshold given in IEC TS 60479-1 is approximately 0,5 mA r.m.s. for low frequencies. Various limits are in use between the thresholds for startle-reaction and letgo-immobilization.

##### **D.2.4 Perception threshold**

TOUCH CURRENT can be perceived at levels as low as a few microamperes. Unless the current is high enough to produce involuntary startle-reaction that might result in harmful effects, these small touch currents are not considered hazardous and not usually measured by these methods.

##### **D.2.5 Special applications**

The method of measurement specified in this standard can be used, unless otherwise specified in the applicable standard for the particular product.

0,25 mA r.m.s. (one half of the startle-reaction threshold) is used for Class II EQUIPMENT in product standards such as IEC 60065, IEC 60335-1, IEC 60950-1 and IEC 62368-1. See Figure F.2 for frequency effects.

Limits lower than 0,25 mA r.m.s. are specified for some medical applications. For such applications the method of measurement in this standard may not provide an appropriate body impedance model (see Clause E.1).

### D.3 Choice of limits

Consideration should be given to the need to specify different limits for (1) normal operating conditions and (2) fault conditions.

See IEC TS 60479 series for guidance on the effects of current passing through the human body.

Limits are normally expressed in terms of maximum values of d.c. and a.c. at frequencies up to 100 Hz. The methods of measurement specified in this standard are the same for letgo-immobilization, startle-reaction and some special applications. Measuring networks take into account the effect of higher-frequency current on the body and simulate lowering of body impedance as frequency increases. Letgo-immobilization, startle-reaction and perception are determined by peak values of current, weighted for frequency. For ELECTRIC BURN, r.m.s. values are significant. For the scope of this standard, the effects of frequency on ELECTRIC BURNS are negligible, since the predominant effect at low frequency is startle-reaction or letgo-immobilization.

Limits based upon ventricular fibrillation (see D.2.1) are not necessary for most EQUIPMENT, since the lower TOUCH CURRENT limits for startle-reaction or letgo-immobilization almost always prevent ventricular fibrillation. An exception (discussed in IEC TS 60479-1) is where a short-duration current impulse can flow through the body (too short an impulse to cause inability to let go), and startle-reaction from the current impulse is not considered hazardous.

Inability to let-go has traditionally focused on GRIPPABLE PARTS but this is now understood to be a simplistic view. Under this condition the highest limit value for continuous current is the same as letgo-immobilization (see D.2.2), except for consideration of ELECTRIC BURN. However, ELECTRIC BURN only becomes the predominant factor at high frequencies. In the range of the limits for startle-reaction and letgo-immobilization, there may be a secondary safety hazard due to surprise or involuntary muscle reaction, but no direct injury is expected due to current through the body. Such a current may be considered acceptable under single fault conditions, if so product committees should specifically provide an exemption.

For short-duration current, a limit value higher than that for letgo-immobilization is sometimes used, provided that it is sufficiently below the ventricular fibrillation and ELECTRIC BURN threshold. The network of Figure F.3 might be specified by product committees for such a.c. measurements where small area contact is expected.

The startle-reaction network of Figure 4 should be used for measurements where the startle-reaction limit is used for small area contact.

It is understood that the limit values for low-frequency TOUCH CURRENT in other IEC publications are based upon the following considerations.

- Limits for startle-reaction and lower limits:
  - need to avoid involuntary startle-reaction, where severe consequences may result (for example, falling from a ladder or dropping EQUIPMENT);
  - the limit for startle-reaction is generally 0,5 mA r.m.s. or 0,7 mA peak for a sinusoidal current;
  - a limit lower than 0,25 mA r.m.s. (0,35 mA peak) is indicated where the user is particularly sensitive or at risk due to environmental or biological reasons.
- Letgo-immobilization:

- startle and some reaction are acceptable as an indication of a first fault, when the letgo-immobilization limit is applied;
- men and women are estimated to have an average letgo-immobilization threshold of 16 mA r.m.s. and 10,5 mA r.m.s. respectively;
- some people have a lower threshold, for example the 99,5 percentiles of men and women have been reported as 9 mA r.m.s. and 6 mA r.m.s. respectively, and the threshold values for children are expected to be lower;
- certain single fault conditions may justify letgo-immobilization limits, with startle-reaction limits applying for normal (non-fault) conditions.

Certain EQUIPMENT types may have high initial TOUCH CURRENT when first switched on, which diminishes rapidly as EQUIPMENT is operated. This is normally ignored in setting EQUIPMENT limits when specified by the product committee.

#### **D.4 Electric burn effects of touch current**

There is no generally accepted limit value of TOUCH CURRENT which will prevent ELECTRIC BURNS in all cases. Other parameters, such as the area of contact with the human body and the duration of contact, are known to be relevant. The relationship between these parameters needs further study. When safe limits are established, they may be in terms of two or more of these parameters.

The method of measurement of TOUCH CURRENT for consideration of ELECTRIC BURN effects is specified in this standard (see 7.2).

The following limit has been used in an IEC standard:

- IEC 61010-1: 500 mA r.m.s. (under fault conditions).

It is reported that skin burns begin to occur at current densities of about 300 mA r.m.s./cm<sup>2</sup> to 400 mA r.m.s./cm<sup>2</sup> (Becker, Malhotra and Hedley-Whyte).

Analysis of conditions leading to ELECTRIC BURN has shown that there is a crossover frequency where ELECTRIC BURN exceeds letgo-immobilization and product requirements should reflect the need for making the correct measurement to provide the proper protection. IEC 62368-1 reflects one approach to defining such a requirement.

## **Annex E** (informative)

### **Networks for use in measurement of touch current**

#### **E.1 General**

Current values given in this annex are only examples.

The networks of Figure 3, Figure 4 and Figure 5 are intended for TOUCH CURRENT measurements using limits in general use by product committees: for example, from 100  $\mu\text{A}$  r.m.s./140  $\mu\text{A}$  peak up to approximately 10 mA r.m.s./14 mA peak for a.c. and d.c. currents, and covering a frequency range to 1 MHz for sinusoidal, mixed frequency and non-sinusoidal waveforms.

#### **E.2 Body impedance network – Figure 3**

The purpose of the network of Figure 3 is to

- simulate the impedance of the human body,
- provide a measurement indicating the level of current which can flow through a human body if the body contacts the EQUIPMENT in a like manner.

$R_B$  models the internal impedance of the human body.

$R_S$  and  $C_S$  model the total skin impedance of two points of contact. The value of  $C_S$  is determined from the area of skin contact. For larger areas of contact, a larger value (for example, 0,33  $\mu\text{F}$ ) may be used.

NOTE The human body model of Figure 3 with the  $R$  and  $C$  values used herein has traditionally been used in product safety standards for 50 years or more; it has a long history of adequacy for this measurement.

TOUCH CURRENT with regard to ELECTRIC BURN is equal to  $U_1$  r.m.s. divided by 500  $\Omega$ .

#### **E.3 Startle-reaction (and body impedance) network – Figure 4**

Startle-reaction by the human body is the result of current flowing in the internal portions of the body.

Consideration of, and compensation for, the frequency variation of startle-reaction are required for accurate measurement of this effect. The network of Figure 4 simulates body impedance and provides weighting to follow the frequency characteristics of the body for current causing involuntary startle-reaction. It has been assumed that the shape of the frequency characteristic is the same for reaction and startle, and the data establishing the frequency characteristic was actually obtained through tests on the threshold of startle.

The measurement network is usable for current limits up to the weighted equivalent of about 2 mA r.m.s. at 50 Hz and 60 Hz. The use of this network for measurement of higher level limits is restricted by the consideration of letgo-immobilization and the need for different frequency weighting where the inability to let go is of concern above these levels (see Clause E.4).

The a.c. or d.c. TOUCH CURRENT with regard to startle-reaction is equal to  $U_2$  peak divided by 500  $\Omega$ .

#### **E.4 Letgo-immobilization (and body impedance) network – Figure 5**

Immobilization or the inability to let go of an object is caused by current flow internal to the body (for example, through muscles). The measurement network is suitable for current limits above the weighted equivalent of about 2 mA r.m.s. at 50 Hz and 60 Hz.

The effect of frequency on letgo-immobilization limits is different from its effect on startle-reaction, or on ELECTRIC BURN. This is especially true for frequencies above 1 kHz where the filter design takes this into account.

The network of Figure 5 simulates body impedance and is weighted to follow the frequency response of the body to currents which can cause tetanization of muscles (involuntary muscular contraction) and, thereby, an inability to let go. TOUCH CURRENT with regard to the letgo-immobilization is equal to  $U_3$  peak divided by 500  $\Omega$ .

## Annex F (informative)

### Measuring network limitations and construction

The networks of Figure 3, Figure 4 and Figure 5 are intended to produce a measurable voltage response which approximates the curves given in Figure F.1, Figure F.2 and Figure F.3. The networks and reference curves provided are in general agreement with those published in IEC TS 60479-1 and IEC TS 60479-2, except that, for simplicity of measurement circuits, slight deviations are allowed at the curve inflections between 300 Hz and 10 kHz.

Where limits for ELECTRIC BURN are specified, TOUCH CURRENT is also measured without frequency weighting. The criteria established for ELECTRIC BURN will override criteria for startle-reaction or letgo-immobilization if the r.m.s. current limit for ELECTRIC BURN is exceeded before the weighted peak current limits for startle-reaction and letgo-immobilization are reached. If this occurs, it will usually be in the range of 30 kHz to 500 kHz, depending upon the waveform of the current and limit values used. Unless such frequencies are predominant, no measurement for ELECTRIC BURN limit is necessary.

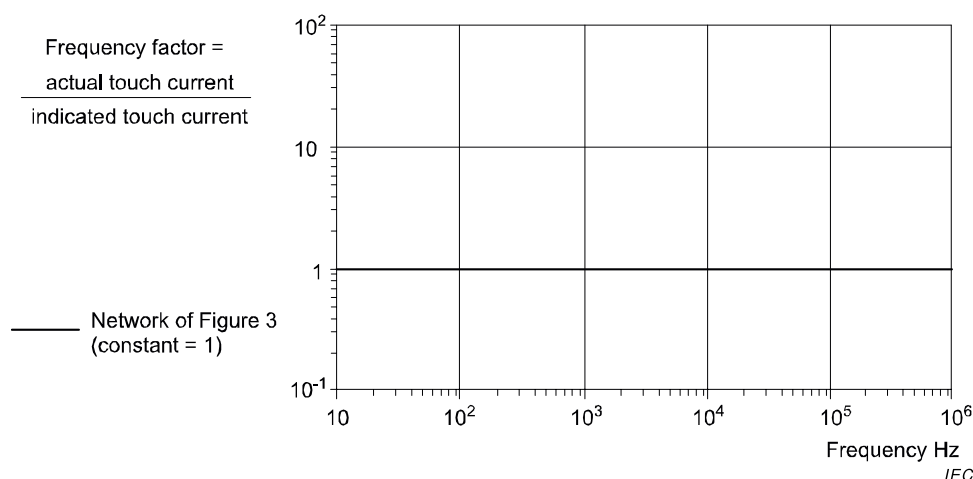


Figure F.1 – Frequency factor for electric burn

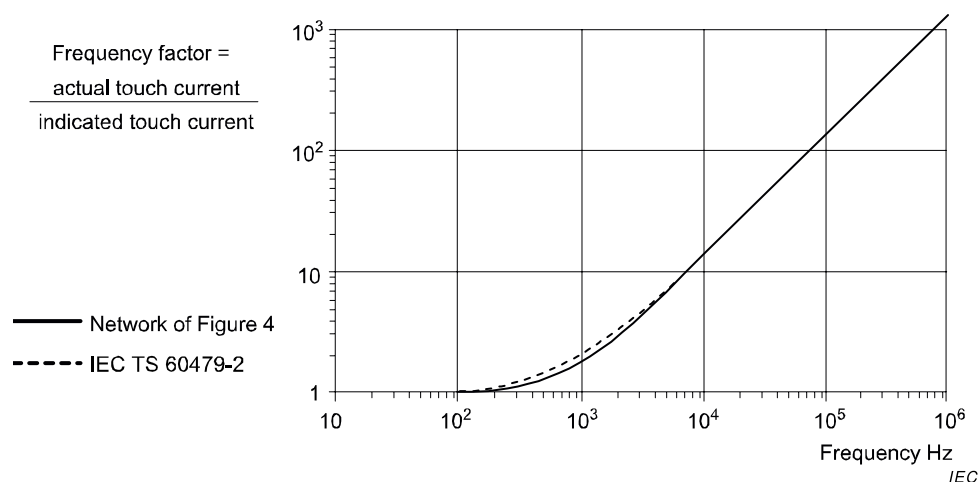
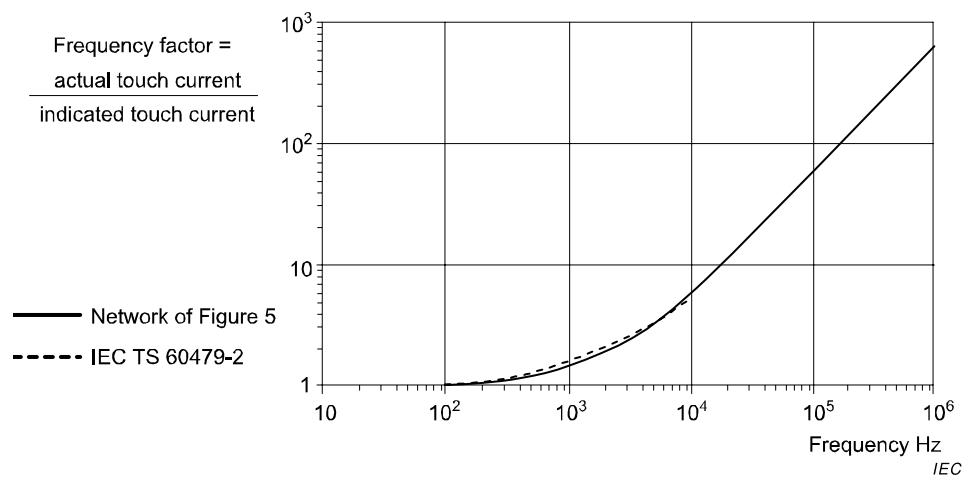


Figure F.2 – Frequency factor for perception or startle-reaction



**Figure F.3 – Frequency factor for letgo-immobilization**

## **Annex G** (informative)

### **Construction and application of touch current measuring instruments**

#### **G.1 Considerations for selection of components**

##### **G.1.1 General**

The selection of components for the TOUCH CURRENT measuring networks in Figure F.3, Figure 4 and Figure 5 can be greatly affected by the application, for example, by the current levels and frequencies that are to be measured, and by the tolerances and power handling capability to be considered.

The measuring networks and instruments and the performance specifications discussed in this standard are appropriate for both sinusoidal TOUCH CURRENT waveforms from simple EQUIPMENT and for non-sinusoidal TOUCH CURRENT waveforms from sophisticated products that can generate high frequencies. However, for a limited application, it may not be necessary for a network to cover the complete range of d.c. to 1 MHz, nor to withstand power input levels that are unlikely in the particular application. Simpler current measuring networks and instruments can be substituted for the specified networks and instruments, provided that circuit conditions are such that the readings would be the same.

Information provided here is intended to point out the factors to be considered for each component, so that appropriate decisions can be made for particular applications.

##### **G.1.2 Power rating and inductance for $R_S$ and $R_B$**

Power in  $R_S$  and  $R_B$  is determined by two factors. One is the possibility of overload at d.c. or low frequencies. If, for example, a 240 V 50 Hz/60 Hz overload capability is desired,  $R_S$  shall tolerate 21,6 W and  $R_B$  7,2 W for at least a short time, without shift in value. However, if overloads are not a concern, then 1/2 W or 1 W metal film resistors can provide adequate accuracy, together with a low temperature coefficient and long-term stability.

Based on the above choices, the measuring network should be appropriately marked, unless it is capable of withstanding continuous overloads.

$R_B$  may also dissipate power from high-frequency currents in some applications. For example, if a current at a burn hazard of 500 mA is to be measured, a power of 125 W would be dissipated in  $R_B$ . Although this is unlikely, a resistor with this capability could be chosen.

Wire wound power resistors are available to handle the power, if other factors such as accuracy and inductive errors are controlled to acceptable levels for the application. Power resistors with an accuracy of  $\pm 1\%$  and  $\pm 5\%$  are readily available. Inductance has been measured on typical 12 W and 20 W wire wound resistors and found to be about 30  $\mu\text{H}$  in a 1 000  $\Omega$  value. Two such resistors in parallel give 500  $\Omega$  and the inductance would cause a 2 % increase in impedance to 510  $\Omega$  at 1 MHz. The values of resistor  $R_S$  and capacitor  $C_S$  control the high-frequency performance of the  $R_S/R_B$  network. An inductance of 1 mH, which is much higher than would be expected, in series with  $R_S$  (1 500  $\Omega$ ), causes less than 0,2 % at 1 MHz.

##### **G.1.3 Capacitor $C_S$**

Film capacitors with extended foil construction are recommended. Capacitor  $C_S$  may require a voltage rating capable of withstanding short-term overload, for example 250 V a.c., or perhaps 400 V d.c. or 600 V d.c. Film capacitors rated for d.c. will usually tolerate an a.c. peak voltage equal to the d.c. rating for short periods without failure. If the inductance of  $C_S$

and its wiring is to be controlled for performance at 1 MHz, two or three capacitors in parallel may be necessary to achieve accuracy and frequency response.

0,1  $\mu\text{F}$  film capacitors rated 250 V a.c. have been measured for resonance at about 3 MHz. Errors of approximately 3 % at 1 MHz can be expected due to the inductance of such components. Capacitors of lower value than 0,1  $\mu\text{F}$  can be connected in parallel to reduce the inductive error.

#### **G.1.4 Resistors R1, R2 and R3**

Metal film resistors will give adequate performance under overload and at frequencies up to 1 MHz. If overload capability is desired (see G.1.2), R1 and R2 should be rated 1 W.

#### **G.1.5 Capacitors C1, C2 and C3**

Film type capacitors of extended foil construction are recommended. The inductance of capacitors in this range will generally not result in significant errors up to 1 MHz. Capacitors can be adjusted for tolerance by connecting two or more smaller capacitors in parallel.

### **G.2 Voltmeter**

For full performance up to 1 MHz, the device used for measuring  $U_1$ ,  $U_2$ , and  $U_3$  should be a voltage measuring instrument which

- responds to
  - d.c. for d.c. measurements,
  - true r.m.s. for r.m.s. measurements, and
  - peak for peak measurements;
- has an input resistance not less than 1 M $\Omega$ ;
- has an input capacitance not more than 200 pF for a.c. measurements;
- has a frequency range for a.c. measurements from 15 Hz to 1 MHz, or more if higher frequencies are involved;
- has floating or differential input with common mode rejection of at least 40 dB up to 1 MHz.

See Clause G.1 regarding the use of simpler instruments for particular applications.

### **G.3 Accuracy**

The overall accuracy of the TOUCH CURRENT measuring network and its voltmeter is influenced by the accuracy of resistors and capacitors, and the frequency response, impedance and accuracy of the voltmeter. Intercomponent capacity and lead inductance also affect the accuracy of a measurement.

NOTE Analysis of the effects of tolerances on the measured TOUCH CURRENT for the specified R and C components in the TOUCH CURRENT meter circuits shows that tolerance of the resistors  $R_S$  and  $R_B$  primarily affect the measurement results. The effects of the other component tolerances are an order of magnitude lower.

A voltmeter has both an input resistance and an input capacitance. At d.c. or low frequencies, a voltmeter having an input resistance of 1 M $\Omega$  used with the measuring network of Figure 4 or Figure 5 will indicate 1 % low due to voltage division with the 10 000  $\Omega$  resistor in the measuring network. At high frequencies, the input capacitance of the voltmeter, typically 30 pF, being directly in parallel with the output capacitor of the measuring network, can

cause an indication that is 0,15 % low in the network of Figure 4 and 0,33 % low in the network of Figure 5.

## **G.4 Calibration and application of measuring instruments**

NOTE A definition of calibration is to correlate the readings of an instrument with those of a standard in order to check the instrument.

The performance of an assembled TOUCH CURRENT measuring network or TOUCH CURRENT measuring instrument can be determined by comparing its readings with calculated ideal values throughout the frequency range of interest (see Clause K.1). The error at each frequency of measurement should be noted for many specimens of each instrument. A compilation of error data should be used to establish guard bands within which future measurements are likely to occur. Statistical confidence in the statement regarding the width of the guard bands can be specified. If only one specimen of a particular design of instrument is built, the guard band can be the actual error data.

The establishment of guard bands ensures that measurements can reproducibly indicate whether the EQUIPMENT being tested is within the TOUCH CURRENT limits, when used in the following way.

For equipment manufacturers, the guard band should be added to the reading, and the sum compared to the limit. This ensures that EQUIPMENT indicated as complying with the TOUCH CURRENT limit will not be rejected by the testing laboratory. For testing laboratories, the guard band should be algebraically subtracted from the reading and the difference compared to the limit. This ensures that the testing laboratory will not reject EQUIPMENT that actually complies with the limit. The tolerances for instruments used by a testing laboratory should be sufficiently low to be accommodated by the difference between the limit value and the threshold of the unwanted physiological effect (see IEC TS 60479-1).

If necessary, the guard band of a measuring network can be made narrower, for example by

- selection of components,
- trimming of component values by connecting one or more components in parallel,
- minimizing lead length and sharp bends in leads (to reduce inductance),
- minimizing areas of parts in proximity (to reduce intercomponent capacitances).

It is recommended that equipment manufacturers minimize TOUCH CURRENT levels. The design of EQUIPMENT having current levels close to TOUCH CURRENT limit values is considered to be poor practice, due to the effects of component tolerance, ageing, use and environment on TOUCH CURRENT. When the TOUCH CURRENT from the EQUIPMENT is close to the limit value, special care should be taken in measurement precision and calibration of the test EQUIPMENT. If the TOUCH CURRENT is not close to the limit value, a wider guard band will be acceptable for instruments used by a manufacturer.

## **G.5 Records**

For each measuring instrument, records should be established containing periodic measurements of the measuring system. These records will provide data for subsequent confirmation systems (see Clause G.6) and about any limitations in use.

## **G.6 Confirmation systems**

NOTE A definition of metrological confirmation (shortened to “confirmation” in this standard) is given in many quality standards.

Measuring instruments used for EQUIPMENT certification should be subjected to routine confirmation of their accuracy (see Clause K.2).

## Annex H (informative)

### Analysis of frequency filtered touch current circuit measurements

Annex H demonstrates the method of measurement of complex waveforms in accordance with IEC TS 60479 series.

Modern oscilloscopes provide accurate numeric value measurement information of waveforms during measurement. Common measurements are r.m.s., peak and peak-to-peak measurements of the waveforms. This annex will show how to use that data to properly develop the needed resulting value which is to be compared to the limit specified in the product standard.

IEC TS 60479-2, special aspects, deals with the complexity of waveforms developed by modern electronic EQUIPMENT that easily switches significant voltages to develop voltages or current adapted for specialized use within EQUIPMENT.

IEC TS 60479-2:2007, 5.2 excerpt: 'Most physiological effects are related to the filtered peak current (in magnitude and duration) with the natural body filter defined by the frequency factor  $F$ . The peak value of the current should be used in all cases except ... (when) pure sinusoidal current.'

The frequency factor filters developed for IEC 60990 fit the frequency factor curves of IEC TS 60479-2 extended to 1 MHz, the long standing dividing frequency between electrical safety and EMC, as shown in Annex F. This extension is based upon a general medical understanding of the conduction of current within the body by including a continual increase in the allowed current to the end frequency carrying on the same reduction in effects specifically measured. These filters are implemented as an inverse of the frequency factor curves to aid in simplifying the measurements.

To implement the measurement of TOUCH CURRENT according to IEC TS 60479 series, including the frequency factor provisions, IEC 60990 provides two TOUCH CURRENT measurement circuits which meet the frequency factor curves of IEC TS 60479-2 under the following conditions:

- A circuit weighted for startle-reaction (formerly called perception-reaction) – Figure 4.
- A circuit weighted for letgo-immobilization (formerly called let-go) – Figure 5.

SPICE analysis was done for the frequency filtered circuits of Figure 4 and Figure 5 using common waveshapes straightforward for analysis and the results are discussed below. Although only a couple of cycles are shown, this analysis applies to continuous TOUCH CURRENT waveforms. The TOUCH CURRENT is calculated in the analysis and is  $V(\text{output}) / 500 \Omega$  which is shown in the plot. The calculation leads to the  $\text{mV}/\Omega$  units (=mA) attached to the TOUCH CURRENT Y / vertical / ordinate axis.

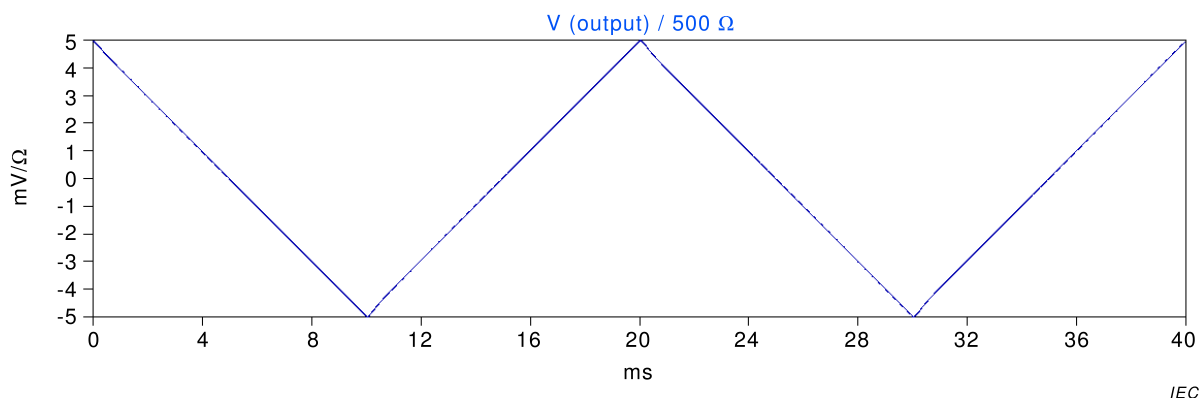
NOTE SPICE output waveform naming explained:  $(V(\text{output})/500 \Omega) = \text{weighted touch current}$  and  $\text{xmV}/\Omega = \text{xmA}$  touch current calculated using the voltage output from the startle-reaction/Figure 4 or the letgo-immobilization/Figure 5 filtered circuit.

### Bipolar waveform examples

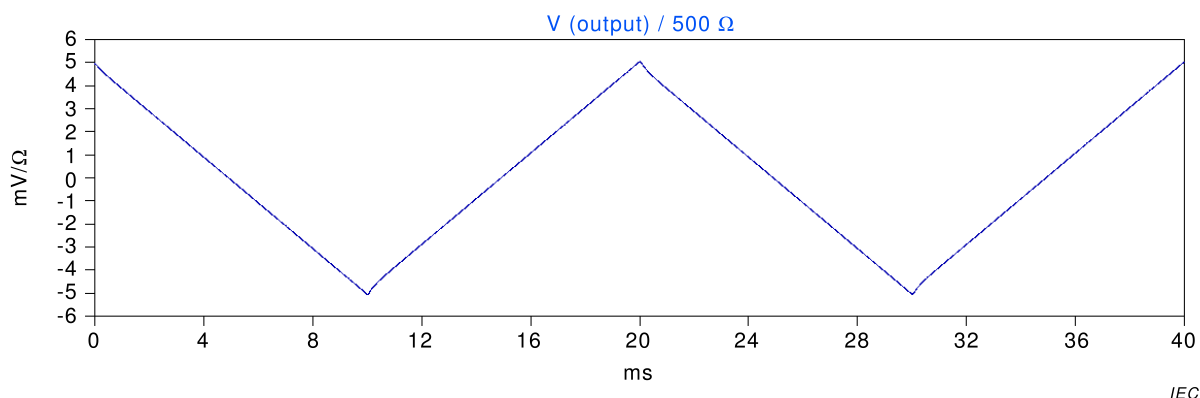
Bipolar alternating current waveforms include:

- sinusoidal waves (the most common example); and
- non-sinusoidal waveforms developed by electronic switching within products for power distribution and utilization.

A simple example is that of a 50 Hz (20 ms) triangular waveform shown in Figure H.1 and Figure H.2.



**Figure H.1 – Triangular waveform touch current, startle-reaction**



**Figure H.2 – Triangular waveform touch current, letgo-immobilization**

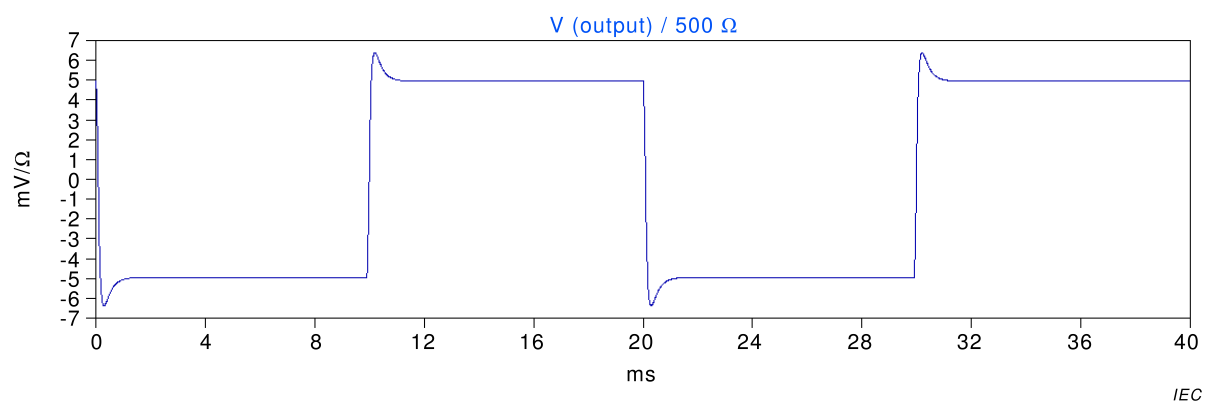
The input conditions are the same as for an equivalent sinusoidal waveform the results are not the same. The peak value shown in Table H.1 is the peak-to-peak value divided by 2. The peak current is at the 5 mA peak level but the r.m.s. value is below the 3,5 mA level of the example above. The peak measurement be used to adequately compare the level of TOUCH CURRENT hazard to the body. In this case the r.m.s. value when used as a measure of adequacy would indicate a margin below that of a sinusoidal limit value which is an unwarranted sense of protection available.

**Table H.1 – Triangular waveform response comparison**

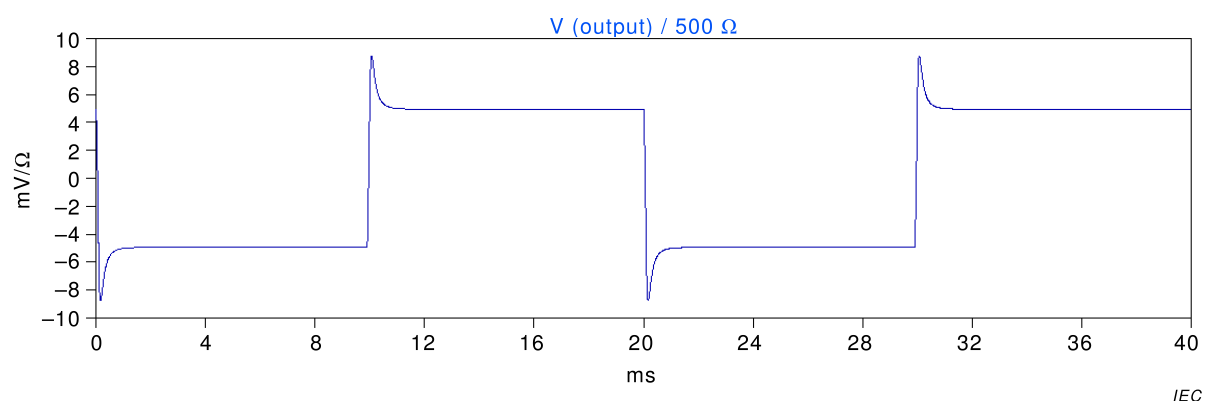
| Circuit / TOUCH CURRENT response                                    | Peak    | r.m.s    |
|---------------------------------------------------------------------|---------|----------|
| Startle-reaction circuit TOUCH CURRENT<br>I [V(output) / 500 Ω]     | 4,98 mA | 2,868 mA |
| Letgo-immobilization circuit TOUCH CURRENT<br>I [V(output) / 500 Ω] | 5,05 mA | 2,869 mA |

The filter circuit component of the TC circuits properly acts on the high frequency components of each waveform.

Another simple circuit of interest is a 50 Hz square wave shown in Figure H.3 and Figure H.4.



**Figure H.3 – 1 ms rise time pulse response, startle-reaction**



**Figure H.4 – 1 ms rise time pulse response, letgo-immobilization**

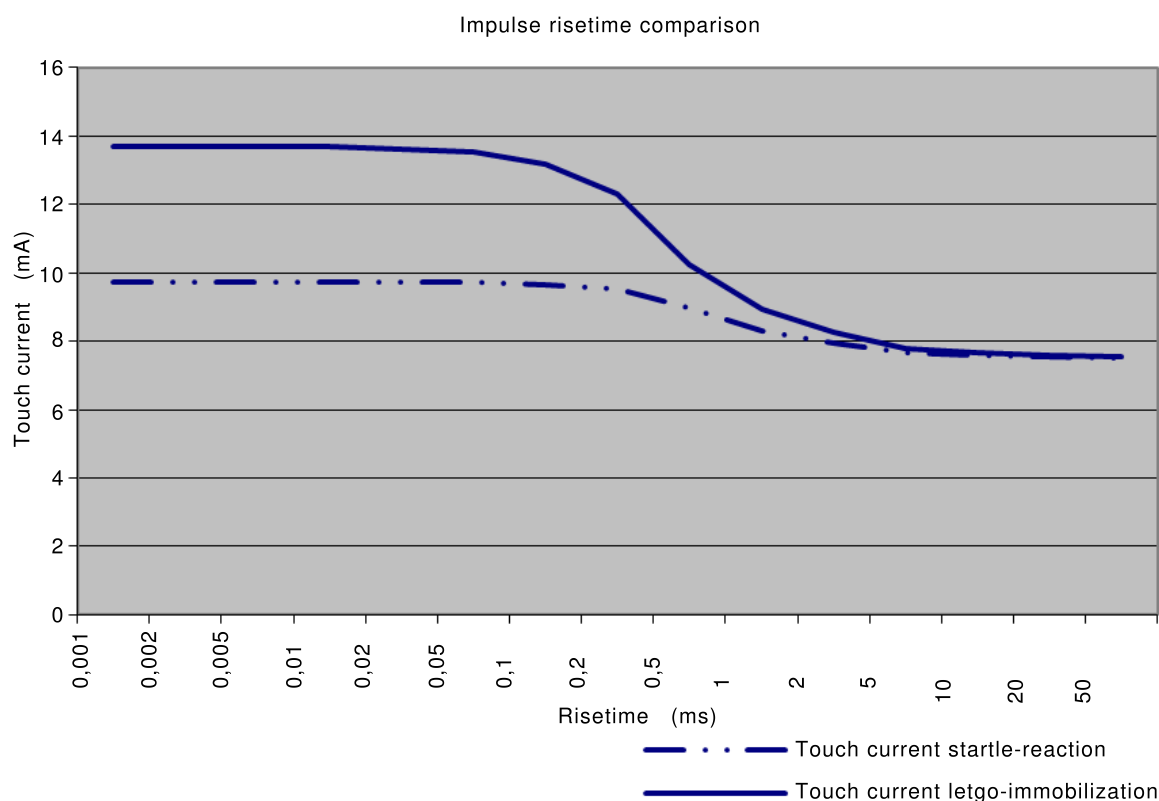
The steady value is 5 mA but the peak value (= peak-to-peak / 2) is higher in each case as shown in Table H.2.

**Table H.2 – Square wave touch current response**

| Circuit / TOUCH CURRENT response                                    | Peak     | r.m.s    |
|---------------------------------------------------------------------|----------|----------|
| Startle-reaction circuit TOUCH CURRENT<br>I [V(output) / 500 Ω]     | 6,39 mA  | 4,991 mA |
| Letgo-immobilization circuit TOUCH CURRENT<br>I [V(output) / 500 Ω] | 8,758 mA | 5,054 mA |

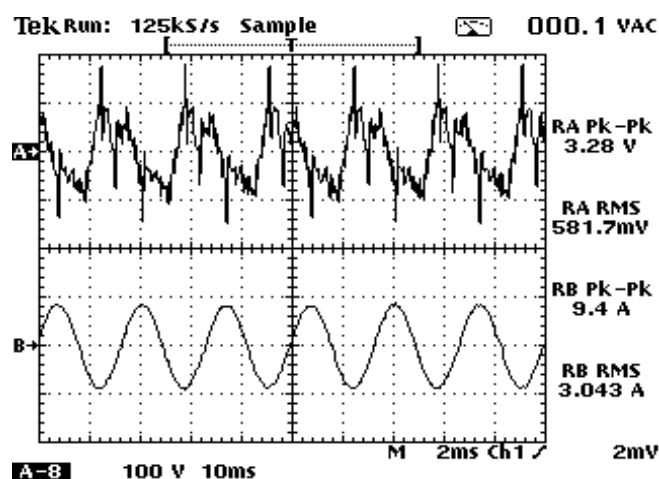
The letgo-immobilization circuit allows more high frequency current through the filter, therefore the peak value is higher.

The rise time is a key factor in the peak TOUCH CURRENT for a fast rising waveform. For this type of waveform, the rise time affects the TOUCH CURRENT by up to a factor of 2 as shown in the TOUCH CURRENT versus rise time plot as shown in Figure H.5.



**Figure H.5 – Touch current vs. rise time plot, 20 ms square wave**

TOUCH CURRENT waveforms have been published for dozens of pieces of modern EQUIPMENT<sup>1</sup>. The use of mains switching devices including efforts to restore sinusoidal input current (power factor correction = PFC) and, more recently, to add higher energy efficiency to Switch Mode Power Supplies (SMPS) has led to more complicated TOUCH CURRENT waveforms. One of the more complicated waveforms that has been seen is shown in waveform A of Figure H.6.

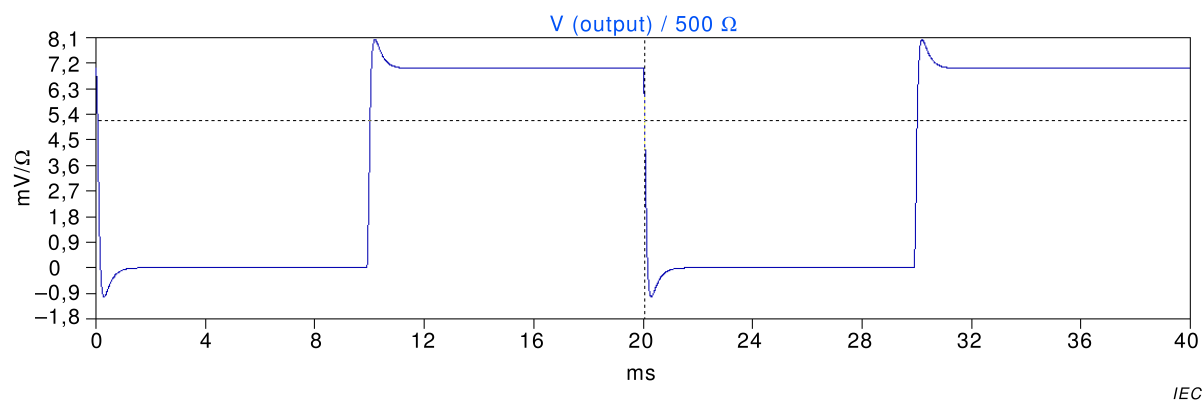


**Figure H.6 – PFC SMPS touch current waveform**

<sup>1</sup> 'Touch current comparison data'; Perkins, 2006. A collection of more than two dozen touch current waveforms from a variety of equipment; posted on [www.safetylink.com](http://www.safetylink.com), search on perkins.

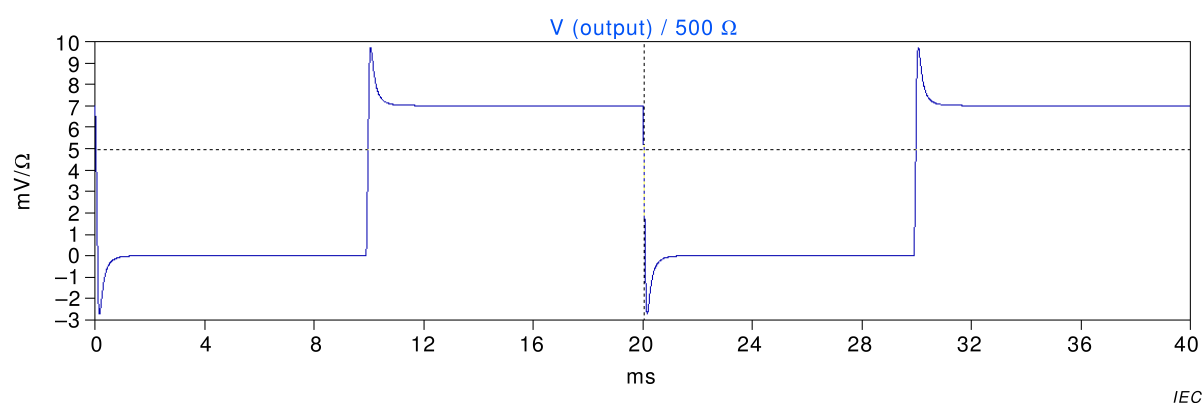
### Monopolar waveform example

DC applications are the most common examples of monopolar waveforms. Of specific interest are switched d.c. applications that are discussed here and shown in Figure H.7 and Figure H.8.



r.m.s. value indicated

**Figure H.7 – 50 Hz square wave, 0,1 ms rise time, startle-reaction**



r.m.s. value indicated

**Figure H.8 – 50 Hz square wave, 0,1 ms rise time, letgo-immobilization**

For monopolar waveforms the peak value of the TOUCH CURRENT is used. The overshoot on top of the d.c. pulse is included in the measurement, the undershoot is not included.

**Table H.3 – Square wave monopolar touch current response**

| Circuit / TOUCH CURRENT response                                 | Peak     | r.m.s.   |
|------------------------------------------------------------------|----------|----------|
| Startle-reaction circuit TOUCH CURRENT I [V(output) / 500 Ω]     | 8,031 mA | 5,006 mA |
| Letgo-immobilization circuit TOUCH CURRENT I [V(output) / 500 Ω] | 9,716 mA | 5,037 mA |

As before, the rise time of the waveform affects the overshoot and the peak value of the TOUCH CURRENT as shown in Table H.3.

### Mixed a.c./d.c. examples

IEC TS 60479-2:2007, Figure 7 shows the let-go threshold expressed in peak mA for the combinations of 50/60 Hz sinusoidal alternating current and direct current. The peak of the

composite a.c. and d.c. wave in mA at the let-go threshold estimated for the population of humans including children is shown as a function of the direct current component in mA.

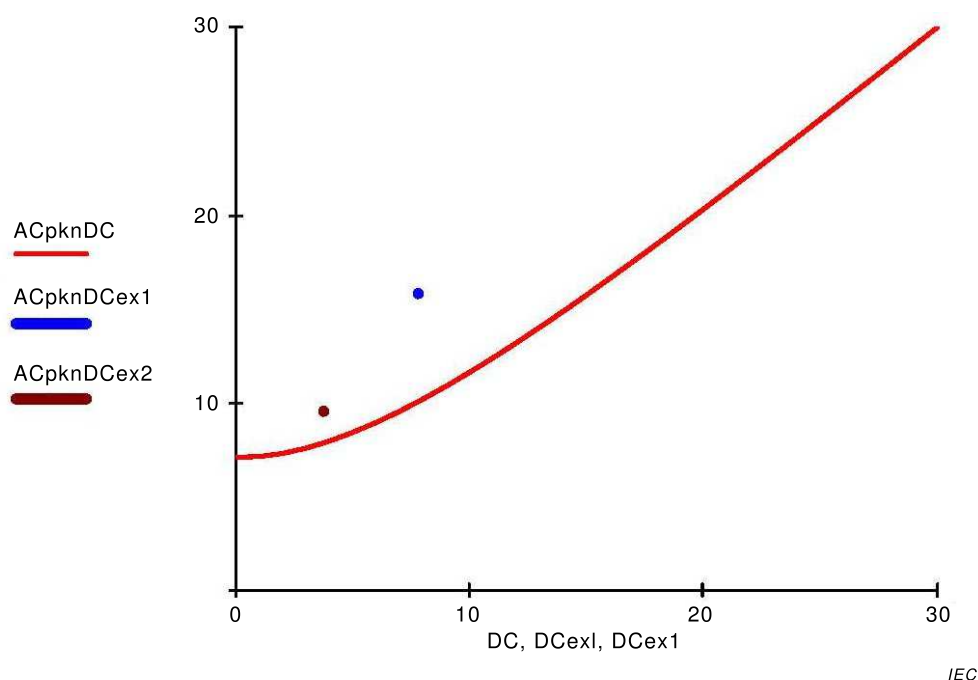
IEC TS 60479-2:2007, Figure 7 is represented by the equation for the composite current:

$$ACpk+DC = 7,176^{(-0,143\ 4 \times DC)} - 0,106\ 1 + DC$$

These effects are related to the peak value of the current and they have to be combined frequency per frequency to estimate the total effect. A measurement circuit is described in this standard.

Herein is shown to the use of IEC 60990 circuits to make measurement of mixed a.c./d.c. TOUCH CURRENTS and properly evaluate them against the equation above. The IEC TS 60479-2:2007, Figure 7 is repeated in Figure H.9 and annotated with some additional data from the waveforms discussed in this annex.

NOTE The composite waveform shown in IEC TS 60479-2:2007, Figure 7 is named ACpknDC in the plot of Figure 9 below. The examples are ACpknDCex1 and ACpknDCex2; the DC values are similarly named as explained in the text following.



**Figure H.9 – IEC TS 60479-2 let-go threshold for AC and DC combinations augmented by additional data, mA each axis**

The procedure is as follows. The maximum peak absolute value of the composite waveform is selected (**bold values** of TOUCH CURRENT in the tables) to be plotted as ACpknDC. The peak-equivalent (pk-ev) value is calculated from the r.m.s. value; this is subtracted from the maximum peak value to get the DC value needed for the plot. The values derived from the measurements can be plotted on the same graph as the curve to compare as is done here or, alternatively, the DC value can be entered into the equation for the composite current to calculate the ACpk+DC and compared to the measurement derived value called ACpknDC.

#### Example 1 (ex1):

The first example (shown in Figure H.10) analyzed for letgo-immobilization.

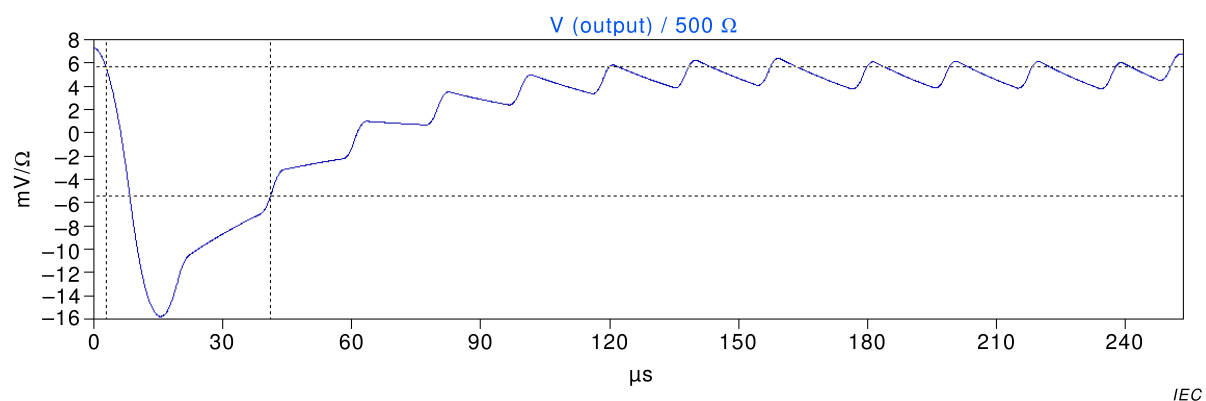


Figure H.10 – Ex1 case: showing r.m.s. window

For the ex1 case shown above, see Table H.4.

Table H.4 – Mixed ACnDC waveform evaluation, ex1

|                                                                                                                         | TOUCH CURRENT peak                    | TOUCH CURRENT r.m.s.                                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Letgo-immobilization case                                                                                               | +7,281 96 / - <b>15,788 2</b> mA peak | 5,644 6 mA r.m.s.<br>Pk-ev: $5,644\ 6 \times 1,414 = 8$ mA peak<br>$15,79 - 8 = \mathbf{7,79}$ mA d.c. |
| The values in bold in the table correspond to the plotted values (with rounding included in the latter) of Figure H.10. |                                       |                                                                                                        |

The values to be plotted for graphical evaluation are:

$$\mathbf{ACpknDCex1 = 15,8, \quad DCex1 = 7,79}$$

Example 2 (ex2):

Another mixed case, ex2, is shown in Figure H.11 and Table H.5.

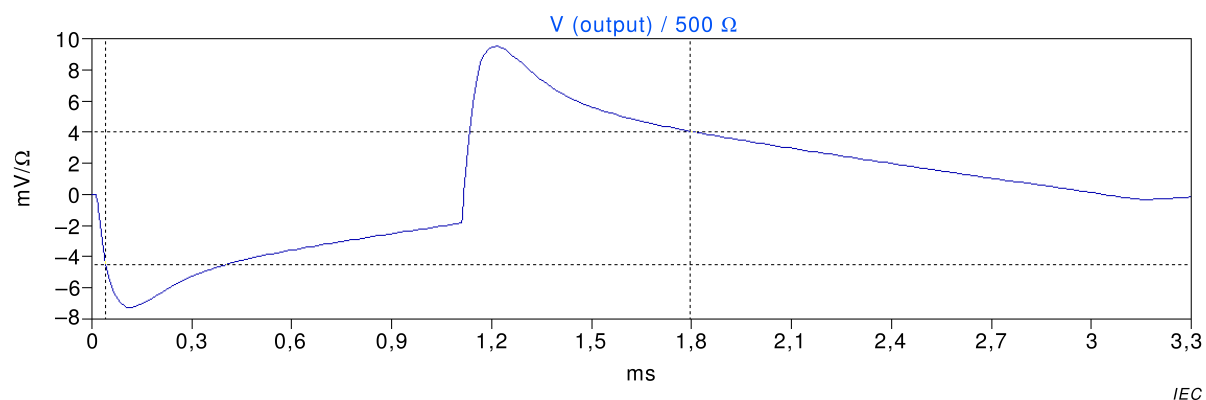


Figure H.11 – Waveform ex2 case: showing r.m.s. window

**Table H.5 – Mixed ACnDC waveform evaluation, ex2**

|                                                                                                                         | TOUCH CURRENT peak                  | TOUCH CURRENT r.m.s                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Letgo-immobilization case                                                                                               | <b>9,524 69</b> / -7,247 19 mA peak | 4,085 4 mA r.m.s.<br>Pk-ev: $4,085\ 4 \times 1,414 = 5,777\ 6$ mA peak<br>$9,524\ 7 - 5,777\ 6 = \mathbf{3,747\ 1}$ mA d.c. |
| The values in bold in the table correspond to the plotted values (with rounding included in the latter) of Figure H.11. |                                     |                                                                                                                             |

The values to be plotted for graphical evaluation are:

$$\mathbf{ACpknDCex2 = 9,52, \quad DCex2 = 3,75}$$

Each example falls above the letgo-immobilization curve and fails to meet a letgo-immobilization TOUCH CURRENT limit of 5 mA r.m.s. / 7 mA peak as described in IEC TS 60479-2.

## **Annex I** (informative)

### **AC power distribution systems (see 5.4)**

#### **I.1 General**

In IEC 60364-1, a.c. power distribution systems are classified TN, TT and IT, depending on the arrangement of current-carrying conductors and on the method of earthing. The classes and codes are explained in this annex. Some examples of each class are given in the Figure I.1 to Figure I.8; other configurations also exist.

In the figures:

- in most cases, the power systems apply for single-phase and three-phase EQUIPMENT but, for simplicity, only single-phase EQUIPMENT is illustrated;
- the power sources may be transformer secondaries, motor-driven generators or uninterruptible power systems;
- for transformers within a user's building, some of the figures apply, and the building boundary represents a floor of the building;
- some power systems are earthed at additional points, for example at the power entry points of users' buildings (see IEC 60364-4-41:2005).

The following types of EQUIPMENT connection are taken into account; the numbers of wires mentioned do not include conductors used exclusively for earthing:

- single-phase, 2-wire;
- single-phase, 3-wire;
- two-phase, 3-wire;
- three-phase, 3-wire;
- three-phase, 4-wire.

The system codes used have the following meaning.

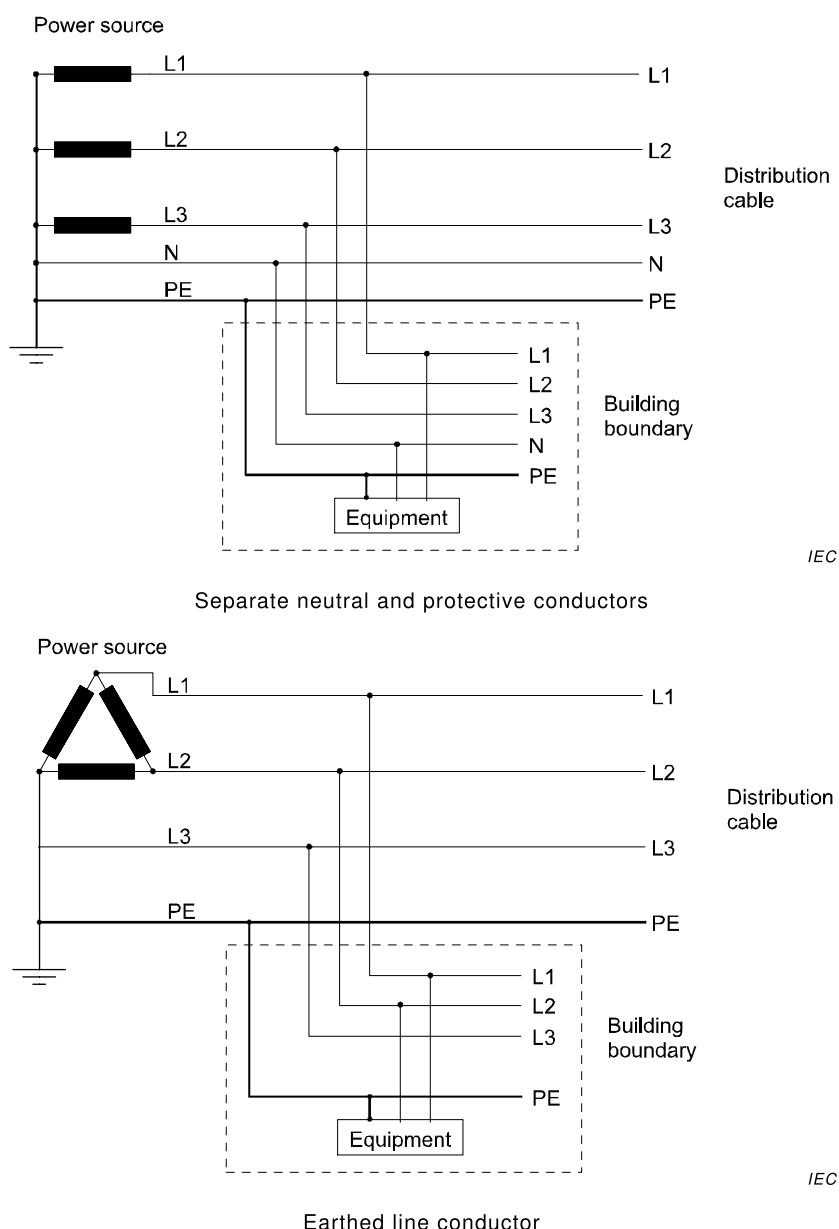
- First letter: relationship of the power system to earth
  - T means direct connection of one pole to earth;
  - I means system isolated from earth, or one point connected to earth through an impedance.
- Second letter: earthing of the EQUIPMENT
  - T means direct electrical connection of the EQUIPMENT to earth, independently of the earthing of any point of the power system;
  - N means direct electrical connection of the EQUIPMENT to the earthed point of the power system (in a.c. systems, the earthed point of the power system is normally the neutral point or, if a neutral point is not available, a phase conductor).
- Subsequent letters, if any: arrangement of neutral and protective conductors
  - S means the protective function is provided by a conductor separate from the neutral or from earthed line (or, in a.c. systems, earthed phase) conductor;
  - C means the neutral and protective functions are combined in a single conductor (PEN conductor).

## I.2 TN power systems

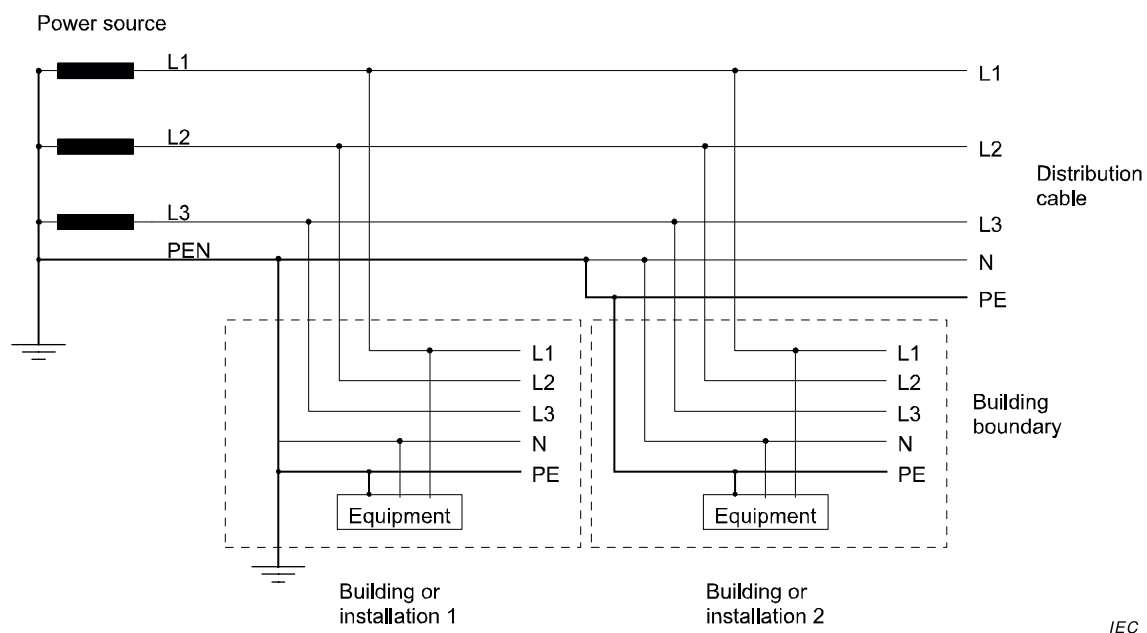
TN power systems are directly earthed, the parts of the EQUIPMENT required to be earthed being connected by protective earthing conductors. Three types of TN power systems are considered:

- TN-S power system: in which a separate protective conductor is used throughout the system;
- TN-C-S power system: in which neutral and protective functions are combined in a single conductor in part of the system;
- TN-C power system: in which neutral and protective functions are combined in a single conductor throughout the system.

Some TN power systems are supplied from a secondary winding of a transformer that has an earthed centre tap (neutral). Where the two phase conductors and the neutral conductor are available, these systems are commonly known as single-phase, 3-wire power systems.



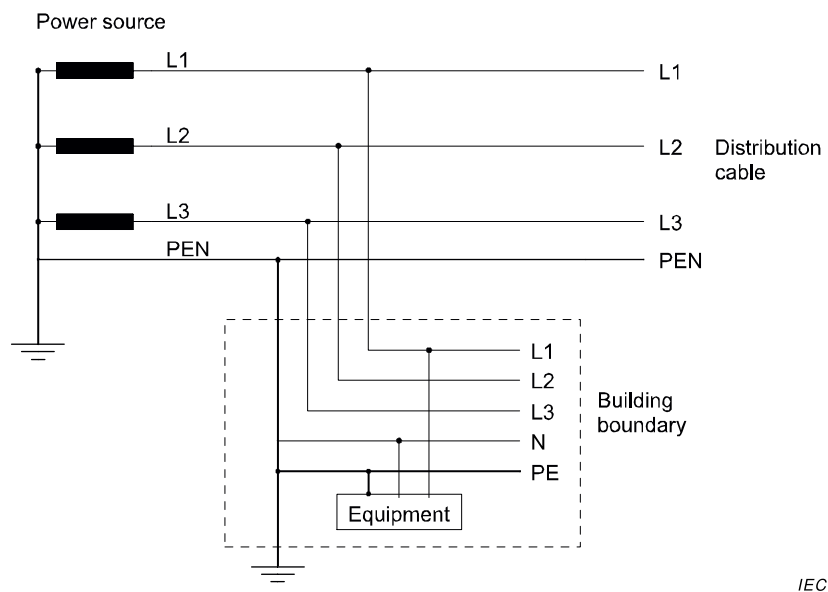
**Figure I.1 – Examples of TN-S power system**



IEC

The point at which the PEN conductor is separated into protective earth and neutral conductors may be at the building entrance or at distribution panels within the building.

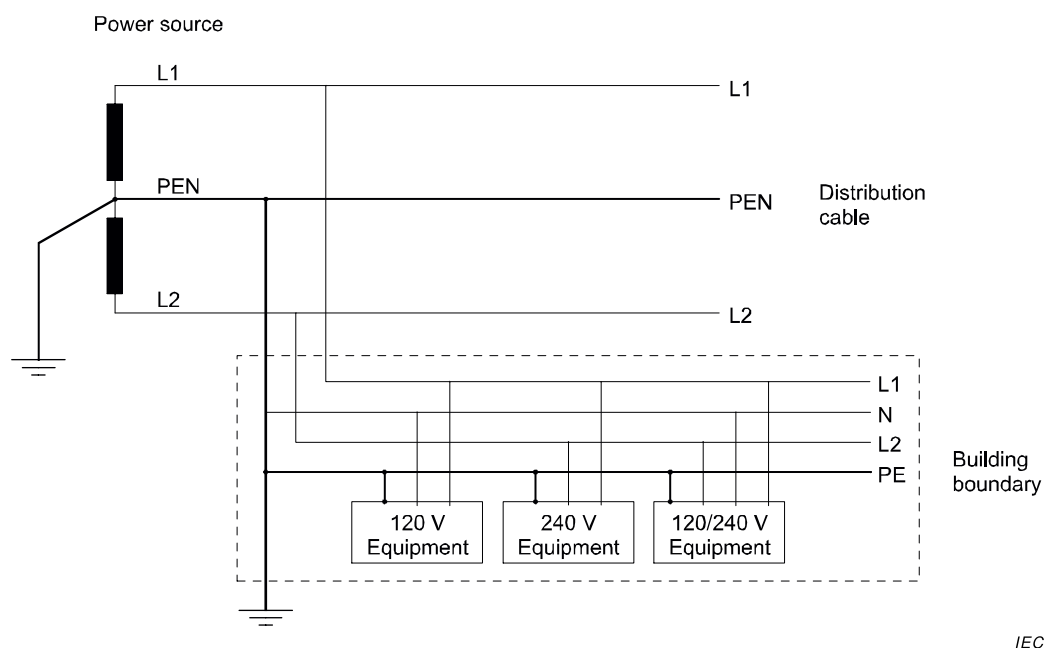
**Figure I.2 – Example of TN-C-S power system**



IEC

Neutral and protective functions combined in one conductor (PEN)

**Figure I.3 – Example of TN-C power system**



IEC

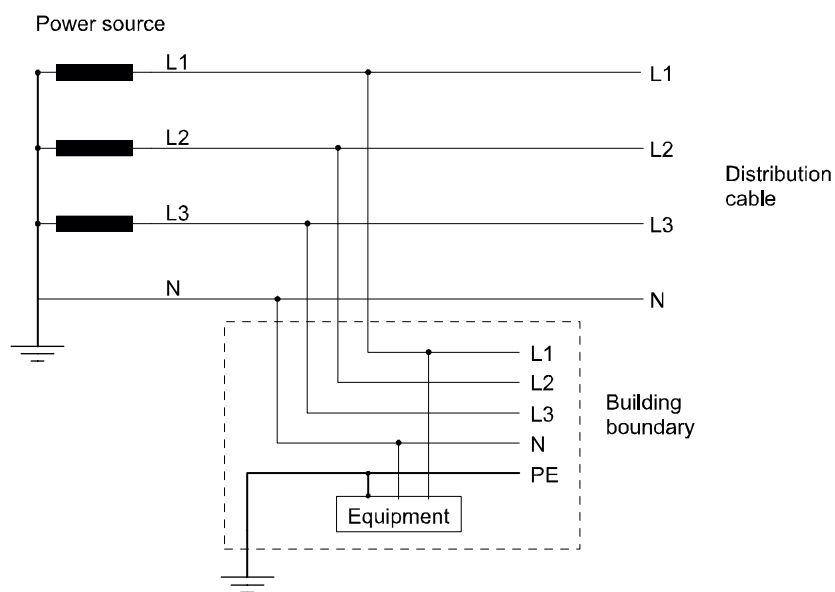
Protective and neutral functions combined in one conductor (PEN)

This system is widely used in North America at 120/240 V.

**Figure I.4 – Example of single-phase, 3-wire TN-C power system**

### I.3 TT power systems

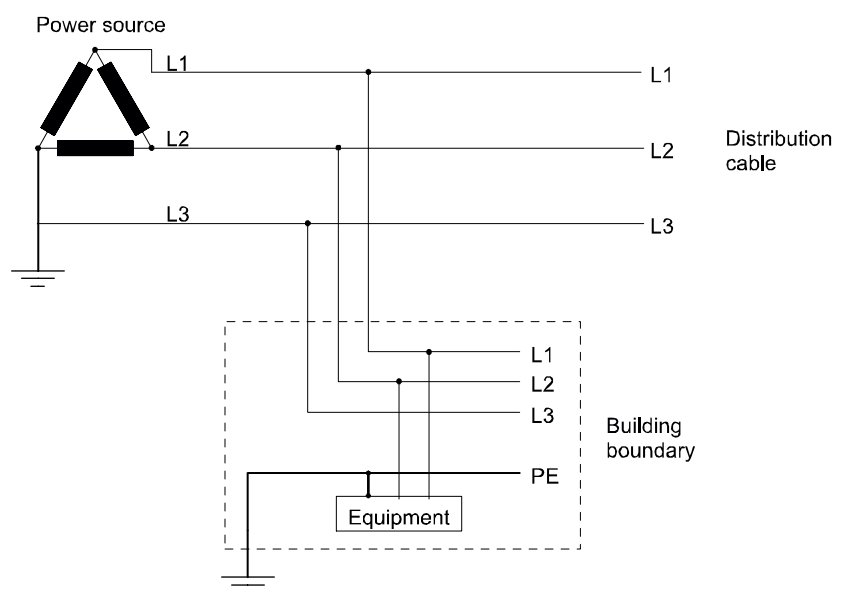
TT power systems have one point directly earthed, the parts of the equipment required to be earthed being connected at the user's premises to earth electrodes that are electrically independent of the earth electrodes of the power distribution system.



IEC

Earthed neutral and independent earthing of EQUIPMENT

**Figure I.5 – Example of 3-line and neutral TT power system**

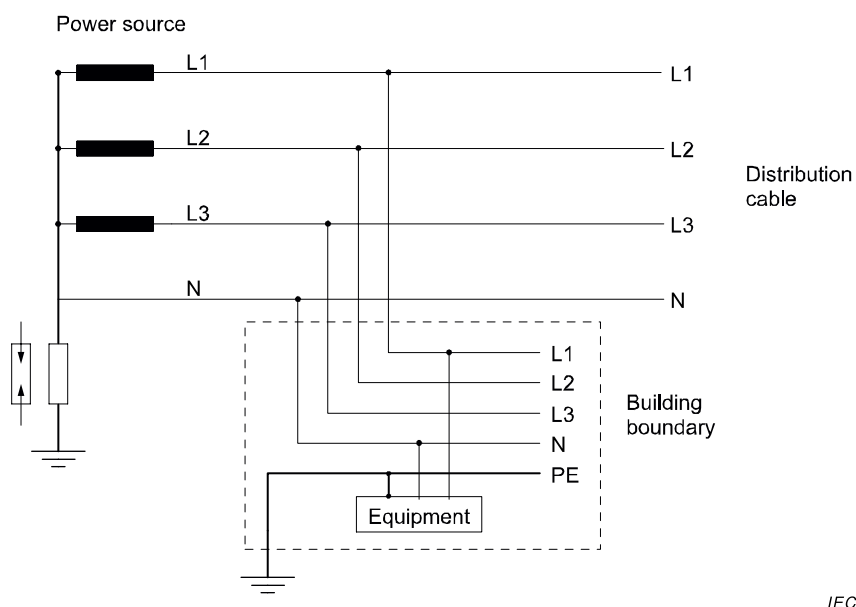


Earthed line and independent earthing of EQUIPMENT

**Figure I.6 – Example of 3-line TT power system**

#### I.4 IT power systems

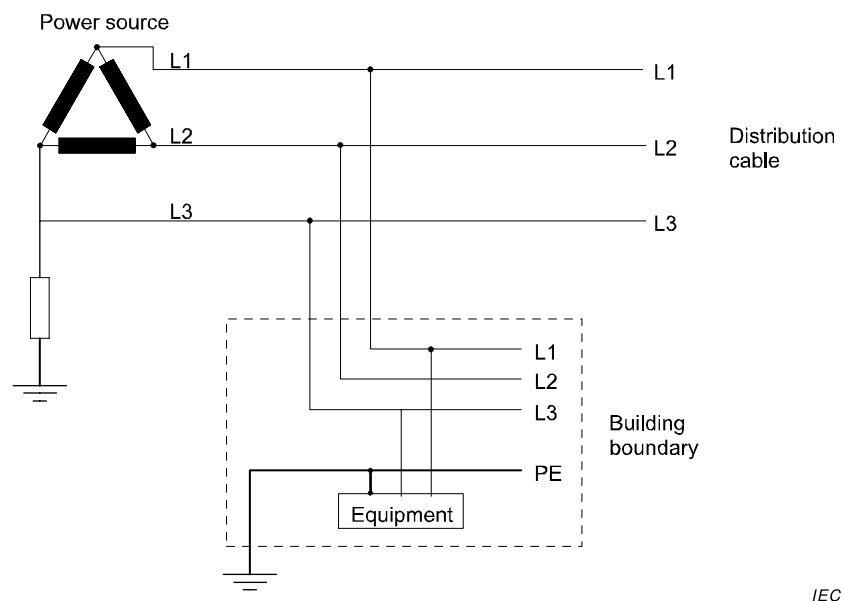
IT power systems are isolated from earth, except that one point may be connected to earth through an impedance or a voltage limiter. The parts of the EQUIPMENT required to be earthed are connected to earth electrodes at the user's premises.



The neutral may be connected to earth through an impedance or a voltage limiter, or isolated from earth.

This system is widely used isolated from earth, in some installations in France, with impedance to earth, at 230/400 V, and in Norway, with a voltage limiter, neutral not distributed, at 230 V line-to-line.

**Figure I.7 – Example of 3-line (and neutral) IT power system**



The system may be isolated from earth.

**Figure I.8 – Example of 3-line IT power system**

## **Annex J** (informative)

### **Routine and periodic touch current tests, and tests after repair or modification of mains operated equipment**

This annex defines methods and procedures to perform tests which reverify TOUCH CURRENT according to design requirements from the product standard, during production (routine test), after repair or modification and at periodic intervals during use.

The objective is to have the test performed by technicians or other instructed persons, using simple procedures to achieve sufficient accuracy. Measuring results should be easy to interpret. Measuring equipment should be economical and easy to use under practical field conditions.

#### **Method**

Tests are to be carried out using the procedures of this standard with the appropriate measuring network. Tests are to be performed under the environmental conditions of an appropriate field or factory location.

The EQUIPMENT is to be tested in a stand-alone configuration without external connections, except for the mains supply.

TOUCH CURRENT is to be measured and shall be at or below the limit defined in the EQUIPMENT standard as follows:

- if the limit is given as d.c. current, measure the d.c. and compare with the limit;
- if the limit is given in peak current, measure the peak current and compare with the peak limit;
- if the limit is given in r.m.s. current, measure the r.m.s. current and compare with the r.m.s. limit.

No routine or periodic test is required for ELECTRIC BURN currents unless specified by the EQUIPMENT standard.

## Annex K (normative)

### Network performance and calibration

#### K.1 Network or instrument performance and initial calibration

Measured ratios of input voltage to input current (input impedance) and output voltage to input current (transfer impedance or network response) are compared with ideal values calculated from the nominal component values specified in Figure 3, Figure 4 and Figure 5. Care is taken in the arrangement of the test equipment circuitry so that intercomponent capacitance, lead inductance and characteristics of the voltage measuring device do not significantly affect the voltage-current ratios.

A guard band indicating the uncertainty of measurement at various frequencies is specified for each instrument. The performance of measuring networks can, if necessary, be adjusted to make the guard band narrower.

NOTE 1 A definition of uncertainty of measurement is the characterization of the range within which the true value of a measurement is estimated to lie; this is a common term in metrology and calibration.

NOTE 2 Guidance on adjusting the performance of measuring networks is given in G.4.

The performance of a measuring network is checked by passing variable frequency sinusoidal current through the input of the instrument, test terminals A and B in Figure 3, Figure 4 and Figure 5. The input current ( $I$ ), input voltage ( $U$ ) and output voltage ( $U_1$ ,  $U_2$  or  $U_3$ ) are measured at various frequencies. If possible, the output voltage is measured by the same voltmeter as will be used during all measurements on the EQUIPMENT for product certification purposes and for all confirmation procedures (see Clause K.2).

**Table K.1 – Calculated input impedance and transfer impedance  
for unweighted touch current measuring network (Figure 3)**

| Frequency<br>Hz | Input impedance<br>$U / I$ | Transfer impedance<br>$U_1 / I$ |
|-----------------|----------------------------|---------------------------------|
| 20              | 1 998                      | 500                             |
| 50              | 1 990                      | 500                             |
| 60              | 1 986                      | 500                             |
| 100             | 1 961                      | 500                             |
| 200             | 1 857                      | 500                             |
| 500             | 1 434                      | 500                             |
| 1 000           | 979                        | 500                             |
| 2 000           | 675                        | 500                             |
| 5 000           | 533                        | 500                             |
| 10 000          | 509                        | 500                             |
| 20 000          | 502                        | 500                             |
| 50 000          | 500                        | 500                             |
| 100 000         | 500                        | 500                             |
| 200 000         | 500                        | 500                             |
| 500 000         | 500                        | 500                             |
| 1 000 000       | 500                        | 500                             |

**Table K.2 – Calculated input impedance and transfer impedance for startle-reaction touch current measuring network (Figure 4)**

| Frequency<br>Hz | Input impedance<br>$U / I$ | Transfer impedance<br>$U_2 / I$ |
|-----------------|----------------------------|---------------------------------|
| 20              | 1 998                      | 500                             |
| 50              | 1 990                      | 499                             |
| 60              | 1 986                      | 498                             |
| 100             | 1 961                      | 495                             |
| 200             | 1 857                      | 480                             |
| 500             | 1 433                      | 405                             |
| 1 000           | 973                        | 284                             |
| 2 000           | 661                        | 162,9                           |
| 5 000           | 512                        | 68,3                            |
| 10 000          | 485                        | 34,4                            |
| 20 000          | 479                        | 17,21                           |
| 50 000          | 477                        | 6,89                            |
| 100 000         | 476                        | 3,45                            |
| 200 000         | 476                        | 1,722                           |
| 500 000         | 476                        | 0,689                           |
| 1 000 000       | 476                        | 0,345                           |

**Table K.3 – Calculated input impedance and transfer impedance for letgo-immobilization current measuring network (Figure 5)**

| Frequency<br>Hz | Input impedance<br>$U / I$ | Transfer impedance<br>$U_3 / I$ |
|-----------------|----------------------------|---------------------------------|
| 20              | 1 998                      | 500                             |
| 50              | 1 990                      | 499                             |
| 60              | 1 986                      | 499                             |
| 100             | 1 961                      | 496                             |
| 200             | 1 858                      | 484                             |
| 500             | 1 434                      | 427                             |
| 1 000           | 976                        | 340                             |
| 2 000           | 667                        | 251                             |
| 5 000           | 515                        | 144,3                           |
| 10 000          | 487                        | 79,9                            |
| 20 000          | 479                        | 41,2                            |
| 50 000          | 477                        | 16,63                           |
| 100 000         | 476                        | 8,32                            |
| 200 000         | 476                        | 4,16                            |
| 500 000         | 476                        | 1,666                           |
| 1 000 000       | 476                        | 0,833                           |

## **K.2 Calibration in a confirmation system**

### **K.2.1 General**

NOTE A definition of metrological confirmation (shortened to “confirmation” in this standard) is a set of operations required to ensure that a measuring equipment is in a state of compliance with requirements for its intended use.

Each instrument that is used to determine acceptability for the purpose of certification of EQUIPMENT shall be routinely calibrated in a confirmation system to ensure that no drift of its performance outside the limits of permissible error has occurred. Reference is necessary to the guard band and other data recorded for the particular measuring instrument during its initial calibration (see Clause K.1).

If a particular measuring instrument has drifted outside permissible limits, measurements made on the EQUIPMENT with that instrument since the last confirmation calibration shall be reviewed to check their validity.

Calibration in a confirmation system is carried out in two steps.

### **K.2.2 Measurement of input resistance**

The d.c. input resistance is measured and its value is checked against the ideal value ( $2\,000\ \Omega$ ) and the value determined during initial calibration.

NOTE This measurement guards against the possibility that a shift in input impedance has occurred at the same time that a shift occurs in the instrument response, resulting in addition or cancellation of errors.

### **K.2.3 Measurement of instrument performance**

The input voltage and the output voltage (or milliamperes as indicated on the meter) are measured at various frequencies and the ratios compared to the data in Table K.4, Table K.5 or Table K.6, as appropriate. If possible, the output voltage is measured by the same voltmeter as will be used for initial calibration and during all measurements on the EQUIPMENT for product certification purposes. It is sufficient to carry out the measurements at a few frequencies over the whole frequency range of interest as long as attention is given to the higher frequencies. The input voltages used should be such as to produce output indications in the range of the TOUCH CURRENT limit values for which the measuring instrument is intended, subject to observing the power rating of internal components.

NOTE Table K.4, Table K.5 and Table K.6 are derived from Table K.1, Table K.2 and Table K.3 respectively but, in order to simplify the confirmation procedure, the presentation of the data avoids the need to measure input current at high frequencies.

**Table K.4 – Output voltage to input voltage ratios for unweighted touch current measuring network (Figure 3)**

| Frequency<br>Hz | Output voltage to<br>input voltage ratio | Input voltage to<br>output voltage ratio | Input voltage<br>per milliampere<br>indication |
|-----------------|------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 20              | 0,250                                    | 4,00                                     | 2,00                                           |
| 50              | 0,251                                    | 3,98                                     | 1,99                                           |
| 60              | 0,252                                    | 3,97                                     | 1,99                                           |
| 100             | 0,255                                    | 3,92                                     | 1,96                                           |
| 200             | 0,269                                    | 3,72                                     | 1,86                                           |
| 500             | 0,349                                    | 2,87                                     | 1,43                                           |
| 1 000           | 0,511                                    | 1,96                                     | 0,979                                          |
| 2 000           | 0,740                                    | 1,35                                     | 0,675                                          |
| 5 000           | 0,937                                    | 1,07                                     | 0,533                                          |
| 10 000          | 0,983                                    | 1,02                                     | 0,509                                          |
| 20 000          | 0,996                                    | 1,00                                     | 0,502                                          |
| 50 000          | 0,999                                    | 1,00                                     | 0,500                                          |
| 100 000         | 1,00                                     | 1,00                                     | 0,500                                          |
| 200 000         | 1,00                                     | 1,00                                     | 0,500                                          |
| 500 000         | 1,00                                     | 1,00                                     | 0,500                                          |
| 1 000 000       | 1,00                                     | 1,00                                     | 0,500                                          |

**Table K.5 – Output voltage to input voltage ratios for startle-reaction measuring network (Figure 4)**

| Frequency<br>Hz | Output voltage to<br>input voltage ratio | Input voltage to<br>output voltage ratio | Input voltage<br>per milliampere<br>indication |
|-----------------|------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 20              | 0,250                                    | 4,00                                     | 2,00                                           |
| 50              | 0,251                                    | 3,99                                     | 2,00                                           |
| 60              | 0,251                                    | 3,99                                     | 1,99                                           |
| 100             | 0,252                                    | 3,96                                     | 1,98                                           |
| 200             | 0,259                                    | 3,87                                     | 1,93                                           |
| 500             | 0,282                                    | 3,54                                     | 1,77                                           |
| 1 000           | 0,292                                    | 3,43                                     | 1,71                                           |
| 2 000           | 0,246                                    | 4,06                                     | 2,03                                           |
| 5 000           | 0,133                                    | 7,50                                     | 3,75                                           |
| 10 000          | 0,070 8                                  | 14,1                                     | 7,06                                           |
| 20 000          | 0,036 0                                  | 27,8                                     | 13,9                                           |
| 50 000          | 0,014 5                                  | 69,2                                     | 34,6                                           |
| 100 000         | 0,007 23                                 | 138                                      | 69,1                                           |
| 200 000         | 0,003 62                                 | 277                                      | 138                                            |
| 500 000         | 0,001 45                                 | 691                                      | 346                                            |
| 1 000 000       | 0,000 723                                | 1 382                                    | 691                                            |

**Table K.6 – Output voltage to input voltage ratios  
for letgo-immobilization measuring network (Figure 5)**

| Frequency<br>Hz | Output voltage to<br>input voltage ratio | Input voltage to<br>output voltage ratio | Input voltage<br>per milliampere<br>indication |
|-----------------|------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 20              | 0,250                                    | 4,00                                     | 2,00                                           |
| 50              | 0,251                                    | 3,99                                     | 1,99                                           |
| 60              | 0,251                                    | 3,98                                     | 1,99                                           |
| 100             | 0,253                                    | 3,95                                     | 1,98                                           |
| 200             | 0,261                                    | 3,83                                     | 1,92                                           |
| 500             | 0,298                                    | 3,36                                     | 1,68                                           |
| 1 000           | 0,348                                    | 2,87                                     | 1,44                                           |
| 2 000           | 0,377                                    | 2,65                                     | 1,33                                           |
| 5 000           | 0,280                                    | 3,57                                     | 1,79                                           |
| 10 000          | 0,164                                    | 6,09                                     | 3,04                                           |
| 20 000          | 0,086 0                                  | 11,6                                     | 5,81                                           |
| 50 000          | 0,034 9                                  | 28,7                                     | 14,3                                           |
| 100 000         | 0,017 5                                  | 57,2                                     | 28,6                                           |
| 200 000         | 0,008 74                                 | 114                                      | 57,2                                           |
| 500 000         | 0,003 50                                 | 286                                      | 143                                            |
| 1 000 000       | 0,001 75                                 | 572                                      | 286                                            |

## Bibliography

IEC 60050-195:1998, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 195: Earthing and protection against electric shock*

IEC 60050-604:1987, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 604: Generation, transmission and distribution of electricity – Operation*

IEC 60065, *Audio, video and similar electronic apparatus – Safety requirements*

IEC 60309-1:1999, *Plugs, socket-outlets and couplers for industrial purposes – Part 1: General requirements*

IEC 60335-1, *Household and similar electrical appliances – Safety – Part 1: General requirements*

IEC 60364-1, *Low-voltage electrical installations – Part 1: Fundamental principles, assessment of general characteristics, definitions*

IEC 60364-4-41:2005, *Low-voltage electrical installations – Part 4-41: Protection for safety – Protection against electric shock*

IEC TS 60479 (all parts), *Effects of current on human beings and livestock*

IEC 60601-1 (all parts), *Medical electrical equipment – Part 1: General requirements for basic safety and essential performance*

IEC 60950-1, *Information technology equipment – Safety – Part 1: General requirements*

IEC 61010-1, *Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use – Part 1: General requirements*

IEC 62368-1, *Audio/video, information and communication technology equipment – Part 1: Safety requirements*

ISO/IEC Guide 50, *Safety aspects – Guidelines for child safety in standards and other specifications*

Becker: Malhotra and Hedley-Whyte, *The distribution of radiofrequency current and burns*, Anesthesiology, Vol. 38, No. 2, Feb. 1973: 106-22

Biegelmeier and Miksch: *Über den Einfluss der Haut auf die Körper – Impedanz des Menschen*, E.u.M., Vol. 97, Heft 9, Sept. 1980, Österreich (only available in German)

Bridges: *An Investigation of Low-Impedance Low-Voltage shocks*, IEEE Transactions on Power Apparatus & Systems, Vol. PAS-100, No 4, April 1981: 1529-1537

Bridge: Ford, Sherman and Vainberg: *Electrical Shock Safety Criteria*. Pergamon, New York, 1985

Dalziel and Mansfield: *Effect of frequency on perception currents*, AIEE Transactions, Vol. 69, Part II, 1950: 1162-1168

Dalziel: *Effect of voltage on let-go currents*, AIEE Transactions, Vol. 62, 1943: 739-744

Freiberger: *Der elektrische Widerstand des menschlichen Körpers gegen technischen Gleich- und Wechselstrom*, Verlag Julius Springer, Berlin, 1934 (only available in German)

Geddes, Leslie A., editor: *Handbook of Electrical Hazards and Accidents*, CRC Press, 1995. ISBN 0-8493-9431-7

Hart: *A five-part resistor-capacitor network for measurement of voltage and current levels related to electric shock and burns*, Electrical Shock Safety Criteria. Pergamon, New York, 1985

Hauf: *Beiträge zur Ersten Hilfe und Behandlung von unfällen durch elektrischen Strom*, wissenschaftlichen Tagung über Elektropathologie, Freiburg, 1986 (only available in German)

Meng: *Touch Current Analysis for Power Supplies Designed for Energy Efficient Regulations*, IEEE PSES ISPCE symposium record, 2011

Perkins, *Touch current comparison data*, 2006; [www.safetylink.com](http://www.safetylink.com), search on perkins

Perkins: *Touch Current Measurement Comparison: Looking at IEC 60990 Measurement Circuit Performance, Part 1: Electric Burn*, IEEE PSES Product Safety Engineering Newsletter, Vol 4 No 2, 2008

Perkins: *Touch Current Measurement Comparison: Looking at IEC 60990 Measurement Circuit Performance, Part 2: Electric Shock*, IEEE PSES Product Safety Engineering Newsletter, Vol 4 No 3, 2008

Perkins: *What does your Touch Current look like? Making Proper Touch Current Measurements*, IEEE PSES/ISPCE Symposium record, 2014

Perkins & Johnson, *Touch Current demo – augmented*, IEEE PSES Symposium record, 2010

Reilly: *Applied Bioelectricity from electrical stimulation to electropathology*, Springer-Verlag, 1998

Reilly: *Electrical Stimulation and Electropathology*, Cambridge University Press, 1992

Wagner: *Über die Diagnostik von Stromeintrittsstellen auf der menschlichen Haut*, Dissertation Universität Erlangen, 1961 (only available in German)

Whittaker: *Electric shock, as it pertains to the electric fence*, UL Bulletin of Research, No 14, 1939

---



## SOMMAIRE

|                                                                                                                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| AVANT-PROPOS.....                                                                                                                                                                                             | 66 |
| INTRODUCTION .....                                                                                                                                                                                            | 68 |
| 1    Domaine d'application .....                                                                                                                                                                              | 70 |
| 2    Références normatives.....                                                                                                                                                                               | 70 |
| 3    Termes et définitions .....                                                                                                                                                                              | 71 |
| 4    Emplacement d'essai.....                                                                                                                                                                                 | 72 |
| 4.1    Environnement de l'emplacement d'essai .....                                                                                                                                                           | 72 |
| 4.2    Transformateur d'essai .....                                                                                                                                                                           | 72 |
| 4.3    Conducteur neutre mis à la terre .....                                                                                                                                                                 | 72 |
| 5    Matériel de mesure.....                                                                                                                                                                                  | 73 |
| 5.1    Choix du réseau de mesure.....                                                                                                                                                                         | 73 |
| 5.1.1    Généralités.....                                                                                                                                                                                     | 73 |
| 5.1.2    Perception et réaction de tressaillement.....                                                                                                                                                        | 74 |
| 5.1.3    Non-lâcher/immobilisation .....                                                                                                                                                                      | 74 |
| 5.1.4    Brûlures électriques (courant alternatif).....                                                                                                                                                       | 74 |
| 5.1.5    Courant continu sans ondulation .....                                                                                                                                                                | 75 |
| 5.2    Électrodes d'essai.....                                                                                                                                                                                | 75 |
| 5.2.1    Construction .....                                                                                                                                                                                   | 75 |
| 5.2.2    Connexion .....                                                                                                                                                                                      | 75 |
| 5.3    Configuration .....                                                                                                                                                                                    | 75 |
| 5.4    Connexions à l'alimentation pendant l'essai.....                                                                                                                                                       | 75 |
| 5.4.1    Généralités.....                                                                                                                                                                                     | 75 |
| 5.4.2    Matériel pour utilisation uniquement dans des schémas de distribution<br>d'énergie étoile TN ou TT.....                                                                                              | 79 |
| 5.4.3    Matériel pour utilisation dans des schémas de distribution d'énergie IT,<br>y compris les schémas triangle non reliés à la terre.....                                                                | 79 |
| 5.4.4    Matériel pour utilisation dans des schémas d'alimentation monophasés<br>dont le point milieu est à la terre ou dans des schémas d'alimentation<br>triangle dont le point milieu est à la terre ..... | 80 |
| 5.5    Tension et fréquence d'alimentation .....                                                                                                                                                              | 80 |
| 5.5.1    Tension d'alimentation .....                                                                                                                                                                         | 80 |
| 5.5.2    Fréquence d'alimentation .....                                                                                                                                                                       | 80 |
| 6    Procédure d'essai.....                                                                                                                                                                                   | 81 |
| 6.1    Généralités .....                                                                                                                                                                                      | 81 |
| 6.1.1    Mesurages du courant de contact.....                                                                                                                                                                 | 81 |
| 6.1.2    Auxiliaires de commande, matériel et conditions d'alimentation .....                                                                                                                                 | 81 |
| 6.1.3    Utilisation des réseaux de mesure.....                                                                                                                                                               | 81 |
| 6.2    Fonctionnement normal et conditions de défaut du matériel .....                                                                                                                                        | 82 |
| 6.2.1    Fonctionnement normal du matériel.....                                                                                                                                                               | 82 |
| 6.2.2    Conditions de défaut du matériel et de l'alimentation .....                                                                                                                                          | 82 |
| 7    Évaluation des résultats .....                                                                                                                                                                           | 84 |
| 7.1    Perception, réaction de tressaillement et non-lâcher/immobilisation .....                                                                                                                              | 84 |
| 7.2    Effets des brûlures électriques .....                                                                                                                                                                  | 84 |
| 8    Mesurage du courant dans le conducteur de protection.....                                                                                                                                                | 84 |
| 8.1    Généralités .....                                                                                                                                                                                      | 84 |
| 8.2    Matériels multiples .....                                                                                                                                                                              | 84 |

|                        |                                                                                                                                                                            |     |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 8.3                    | Méthode de mesure .....                                                                                                                                                    | 85  |
| Annexe A (normative)   | Matériel .....                                                                                                                                                             | 86  |
| Annexe B (normative)   | Utilisation d'un plan conducteur .....                                                                                                                                     | 87  |
| Annexe C (normative)   | Parties connectées fortuitement.....                                                                                                                                       | 88  |
| Annexe D (informative) | Choix des limites de courant.....                                                                                                                                          | 89  |
| D.1                    | Généralités .....                                                                                                                                                          | 89  |
| D.2                    | Exemples de limites .....                                                                                                                                                  | 89  |
| D.2.1                  | Fibrillation ventriculaire .....                                                                                                                                           | 89  |
| D.2.2                  | Non-lâcher/immobilisation .....                                                                                                                                            | 89  |
| D.2.3                  | Réaction de tressaillement .....                                                                                                                                           | 89  |
| D.2.4                  | Seuil de perception .....                                                                                                                                                  | 89  |
| D.2.5                  | Applications spéciales.....                                                                                                                                                | 89  |
| D.3                    | Choix des limites.....                                                                                                                                                     | 90  |
| D.4                    | Effets de brûlure électrique du courant de contact .....                                                                                                                   | 91  |
| Annexe E (informative) | Réseaux à utiliser pour le mesurage du courant de contact .....                                                                                                            | 93  |
| E.1                    | Généralités .....                                                                                                                                                          | 93  |
| E.2                    | Réseau d'impédance du corps – Figure 3 .....                                                                                                                               | 93  |
| E.3                    | Réseau de réaction de tressaillement (et impédance du corps) – Figure 4 .....                                                                                              | 93  |
| E.4                    | Réseau de non-lâcher/d'immobilisation (et impédance du corps) – Figure 5.....                                                                                              | 94  |
| Annexe F (informative) | Limitations et construction du réseau de mesure .....                                                                                                                      | 95  |
| Annexe G (informative) | Construction et application des appareils de mesure du<br>courant de contact.....                                                                                          | 97  |
| G.1                    | Considérations pour le choix des composants .....                                                                                                                          | 97  |
| G.1.1                  | Généralités .....                                                                                                                                                          | 97  |
| G.1.2                  | Puissance assignée et inductance pour $R_S$ et $R_B$ .....                                                                                                                 | 97  |
| G.1.3                  | Condensateur $C_S$ .....                                                                                                                                                   | 98  |
| G.1.4                  | Résistances $R_1$ , $R_2$ et $R_3$ .....                                                                                                                                   | 98  |
| G.1.5                  | Condensateurs $C_1$ , $C_2$ et $C_3$ .....                                                                                                                                 | 98  |
| G.2                    | Voltmètre .....                                                                                                                                                            | 98  |
| G.3                    | Exactitude.....                                                                                                                                                            | 98  |
| G.4                    | Étalonnage et application des appareils de mesure .....                                                                                                                    | 99  |
| G.5                    | Enregistrements.....                                                                                                                                                       | 100 |
| G.6                    | Systèmes de confirmation .....                                                                                                                                             | 100 |
| Annexe H (informative) | Analyse de mesurages de circuits de courant de contact avec<br>filtre de fréquence .....                                                                                   | 101 |
| Annexe I (informative) | Schémas de distribution d'énergie en courant alternatif (voir<br>5.4) .....                                                                                                | 110 |
| I.1                    | Généralités .....                                                                                                                                                          | 110 |
| I.2                    | Schémas d'alimentation TN.....                                                                                                                                             | 111 |
| I.3                    | Schémas d'alimentation TT .....                                                                                                                                            | 114 |
| I.4                    | Schémas d'alimentation IT .....                                                                                                                                            | 115 |
| Annexe J (informative) | Essais individuels de série et essais périodiques du courant<br>de contact et essais après réparation ou modification, pour les matériels<br>alimentés par le réseau ..... | 117 |
| Annexe K (normative)   | Qualités de fonctionnement et étalonnage du réseau .....                                                                                                                   | 118 |
| K.1                    | Qualités de fonctionnement et étalonnage initial du réseau ou de l'appareil .....                                                                                          | 118 |
| K.2                    | Étalonnage dans un système de confirmation .....                                                                                                                           | 120 |
| K.2.1                  | Généralités .....                                                                                                                                                          | 120 |

|               |                                                                                                                                                                              |     |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| K.2.2         | Mesurage de la résistance d'entrée .....                                                                                                                                     | 120 |
| K.2.3         | Mesurage des qualités de fonctionnement de l'appareil .....                                                                                                                  | 120 |
| Bibliographie | .....                                                                                                                                                                        | 123 |
| Figure 1      | – Exemple de neutre mis à la terre, alimentation directe .....                                                                                                               | 73  |
| Figure 2      | – Exemple de neutre mis à la terre, avec transformateur pour l'isolement .....                                                                                               | 73  |
| Figure 3      | – Réseau de mesure, courant de contact non pondéré .....                                                                                                                     | 73  |
| Figure 4      | – Réseau de mesure, courant de contact pondéré pour la perception ou la réaction de tressaillement .....                                                                     | 74  |
| Figure 5      | – Réseau de mesure, courant de contact pondéré pour le non-lâcher / l'immobilisation .....                                                                                   | 74  |
| Figure 6      | – Matériel monophasé dans un schéma étoile TN ou TT .....                                                                                                                    | 76  |
| Figure 7      | – Matériel monophasé dans un schéma TN ou TT avec point milieu à la terre .....                                                                                              | 76  |
| Figure 8      | – Matériel monophasé connecté entre phases dans un schéma étoile TN ou TT .....                                                                                              | 76  |
| Figure 9      | – Matériel monophasé connecté entre phase et neutre dans un schéma étoile IT .....                                                                                           | 77  |
| Figure 10     | – Matériel monophasé connecté entre phases dans un schéma étoile IT .....                                                                                                    | 77  |
| Figure 11     | – Matériel triphasé dans un schéma étoile TN ou TT .....                                                                                                                     | 78  |
| Figure 12     | – Matériel triphasé dans un schéma étoile IT .....                                                                                                                           | 78  |
| Figure 13     | – Schéma triangle non mis à la terre .....                                                                                                                                   | 79  |
| Figure 14     | – Matériel triphasé dans un schéma triangle avec point milieu mis à la terre .....                                                                                           | 79  |
| Figure A.1    | – Matériel .....                                                                                                                                                             | 86  |
| Figure B.1    | – Plate-forme d'essai .....                                                                                                                                                  | 87  |
| Figure F.1    | – Facteur de fréquence pour les brûlures électriques .....                                                                                                                   | 95  |
| Figure F.2    | – Facteur de fréquence pour la perception ou la réaction de tressaillement .....                                                                                             | 95  |
| Figure F.3    | – Facteur de fréquence pour le non-lâcher/l'immobilisation .....                                                                                                             | 96  |
| Figure H.1    | – Forme d'onde triangulaire de courant de contact, réaction de tressaillement .....                                                                                          | 102 |
| Figure H.2    | – Forme d'onde triangulaire de courant de contact, non-lâcher/immobilisation .....                                                                                           | 102 |
| Figure H.3    | – Réponse impulsionnelle avec temps de montée de 1 ms, réaction de tressaillement .....                                                                                      | 103 |
| Figure H.4    | – Réponse impulsionnelle avec temps de montée de 1 ms, non-lâcher/immobilisation .....                                                                                       | 103 |
| Figure H.5    | – Diagramme du courant de contact en fonction du temps de montée, onde carrée de 20 ms .....                                                                                 | 104 |
| Figure H.6    | – Forme d'onde de courant de contact PFC SMPS .....                                                                                                                          | 105 |
| Figure H.7    | – Onde carrée 50 Hz, temps de montée 0,1 ms, réaction de tressaillement .....                                                                                                | 105 |
| Figure H.8    | – Onde carrée 50 Hz, temps de montée 0,1 ms, non-lâcher/immobilisation .....                                                                                                 | 106 |
| Figure H.9    | – Seuil de non-lâcher de l'IEC TS 60479-2 pour des combinaisons de courant alternatif et de courant continu augmenté de données supplémentaires, en mA pour chaque axe ..... | 107 |
| Figure H.10   | – Cas ex1: fenêtre de valeurs efficaces .....                                                                                                                                | 107 |
| Figure H.11   | – Cas ex2 de forme d'onde: fenêtre de valeurs efficaces .....                                                                                                                | 108 |
| Figure I.1    | – Exemples de schéma TN-S .....                                                                                                                                              | 112 |

|                                                                                                                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure I.2 – Exemple de schéma TN-C-S .....                                                                                                                                | 113 |
| Figure I.3 – Exemple de schéma TN-C .....                                                                                                                                  | 113 |
| Figure I.4 – Exemple de schéma monophasé TN-C à 3 conducteurs.....                                                                                                         | 114 |
| Figure I.5 – Exemple de schéma TT à 3 conducteurs actifs et neutre.....                                                                                                    | 114 |
| Figure I.6 – Exemple de schéma TT à 3 conducteurs actifs .....                                                                                                             | 115 |
| Figure I.7 – Exemple de schéma IT à 3 conducteurs actifs (et neutre) .....                                                                                                 | 115 |
| Figure I.8 – Exemple de schéma IT à 3 conducteurs actifs .....                                                                                                             | 116 |
|                                                                                                                                                                            |     |
| Tableau H.1 – Comparaison des réponses de formes d'onde triangulaires.....                                                                                                 | 102 |
| Tableau H.2 – Réponse du courant de contact en onde carrée .....                                                                                                           | 103 |
| Tableau H.3 – Réponse du courant de contact monopolaire en onde carrée .....                                                                                               | 106 |
| Tableau H.4 – Évaluation d'une forme d'onde ACnDC combinée, ex1 .....                                                                                                      | 108 |
| Tableau H.5 – Évaluation de forme d'onde ACnDC combinée, ex2 .....                                                                                                         | 108 |
| Tableau K.1 – Impédance d'entrée et impédance de transfert calculées pour le réseau<br>de mesure du courant de contact non pondéré (Figure 3) .....                        | 118 |
| Tableau K.2 – Impédance d'entrée et impédance de transfert calculées pour le réseau<br>de mesure du courant de contact pour la réaction de tressaillement (Figure 4) ..... | 119 |
| Tableau K.3 – Impédance d'entrée et impédance de transfert calculées pour le réseau<br>de mesure du courant de contact pour le non-lâcher/l'immobilisation (Figure 5)..... | 119 |
| Tableau K.4 – Rapports entre la tension de sortie et la tension d'entrée pour le réseau<br>de mesure du courant de contact non pondéré (Figure 3) .....                    | 121 |
| Tableau K.5 – Rapports entre la tension de sortie et la tension d'entrée pour le réseau<br>de mesure de la réaction de tressaillement (Figure 4) .....                     | 121 |
| Tableau K.6 – Rapports entre la tension de sortie et la tension d'entrée pour le réseau<br>de mesure du non-lâcher/de l'immobilisation (Figure 5) .....                    | 122 |

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

---

### MÉTHODES DE MESURE DU COURANT DE CONTACT ET DU COURANT DANS LE CONDUCTEUR DE PROTECTION

#### AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. À cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 60990 a été établie par le comité d'études 108: Sécurité des appareils électroniques dans le domaine de l'audio, de la vidéo, du traitement de l'information et des technologies de la communication.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition, parue en 1999. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications majeures suivantes par rapport à la deuxième édition:

- les désignations des effets ont été mises à jour pour refléter la meilleure compréhension de la plage des effets et s'accorder avec l'utilisation actuelle;
- les conditions d'utilisation impliquant une PARTIE PREHENSIBLE ont été réduites pour l'application des exigences fondées sur la compréhension actuelle de cet effet;

- les références à l'ISO 10012-1, qui a été remplacée par une norme de management portant le même numéro, ont été remplacées par un texte explicatif, le cas échéant, afin de conserver le sens du document;
- l'ancienne Annexe H informative (PARTIE PREHENSIBLE) a été supprimée de cette mise à jour car elle ne représente pas de manière adéquate l'intégralité des conditions dans lesquelles une immobilisation est susceptible de se produire. Une nouvelle Annexe H informative (Analyse du mesurage de circuits de courant de contact avec filtre de fréquence) a été ajoutée;
- la Bibliographie (anciennement dénommée Annexe M) a été mise à jour avec des références supplémentaires par souci d'exhaustivité.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

| FDIS         | Rapport de vote |
|--------------|-----------------|
| 108/630/FDIS | 108/640/RVD     |

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Dans la présente norme, les caractères d'imprimerie ou formats suivants sont utilisés:

- exigences et annexes normatives: caractères romains;
- déclarations de conformité et spécifications d'essai: *caractères italiques*;
- notes/explications: petits caractères romains;
- conditions normatives dans les tableaux: petits caractères romains;
- termes définis à l'Article 3: PETITES CAPITALES.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. À cette date, la publication sera

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

**IMPORTANT – Le logo "*colour inside*" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.**

## INTRODUCTION

La présente Norme internationale a été élaborée pour répondre à des préoccupations provenant de l'arrivée de nouvelles techniques de découpage à haute fréquence largement appliquées dans les systèmes d'alimentation et dans les MATERIELS, et qui provoquent des courants et tensions harmoniques à haute fréquence.

La présente norme est destinée à servir de guide aux comités traitant de MATERIELS lors de la préparation ou de la modification des spécifications d'essai dans leurs normes de mesure du courant de fuite. Toutefois, le terme «courant de fuite» n'est pas utilisé pour les raisons indiquées ci-après.

La présente norme a été initialement établie dans le cadre de la fonction fondamentale de sécurité assignée au comité d'études 74 (désormais comité d'études 108), comme suit.

### Méthodes de mesure du courant de fuite

Ces méthodes incluent, pour divers types de MATERIELS, tous les aspects qui se rapportent à ce qui est désigné par le terme «courant de fuite», y compris les méthodes de mesure du courant en ce qui concerne les effets physiologiques et les questions d'installation, dans les conditions normales et dans certaines conditions de défaut.

Les méthodes de mesure du courant de fuite décrites ci-après proviennent de l'étude de l'IEC TS 60479-1 et d'autres publications, y compris les descriptions de méthodes de mesure précédentes.

Les conclusions suivantes sont déduites de l'étude des effets du courant de fuite:

- le principal intérêt pour la sécurité concerne le passage possible d'un courant nuisible à travers le corps humain (ce courant n'est pas nécessairement égal au courant traversant le conducteur de protection);
- l'effet du courant électrique traversant un corps humain s'est révélé être sensiblement plus complexe que dans les hypothèses retenues lors de l'élaboration des normes antérieures, dans la mesure où il convient de prendre en compte plusieurs réponses du corps. Les réponses les plus significatives pour établir les limites de sécurité pour des formes d'onde permanentes sont
  - la perception,
  - la réaction de tressaillement,
  - le non-lâcher/l'immobilisation, et
  - la BRÛLURE ÉLECTRIQUE.

Chacune de ces quatre réponses du corps a un niveau de seuil unique. D'importantes différences existent aussi dans la manière dont certains de ces seuils varient en fonction de la fréquence.

Deux types de courants ont été identifiés comme nécessitant des méthodes de mesure différentes: le COURANT DE CONTACT et le COURANT DANS LE CONDUCTEUR DE PROTECTION.

Le COURANT DE CONTACT existe uniquement lorsque le corps ou un modèle de corps humain est un chemin de passage du courant.

Il a été également noté que le terme «courant de fuite» a déjà été appliqué à plusieurs concepts différents: COURANT DE CONTACT, COURANT DANS LE CONDUCTEUR DE PROTECTION, propriétés d'isolement, etc. En conséquence, dans la présente norme, le terme «courant de fuite» n'est pas utilisé.

## Mesurage du COURANT DE CONTACT

Dans le passé, les normes de MATERIELS ont traditionnellement utilisé deux techniques pour mesurer le courant de fuite. Soit le courant réel circulant dans le conducteur de protection était mesuré, soit un simple réseau résistance/condensateur (représentant un modèle simple du corps humain) était utilisé, le courant de fuite étant défini comme le courant traversant la résistance.

La présente norme fournit des méthodes de mesure pour les quatre réponses du corps au courant électrique indiqué ci-dessus, utilisant un modèle du corps humain plus représentatif.

Ce modèle du corps humain a été choisi pour les cas les plus courants de chocs électriques au sens général. En ce qui concerne le cheminement du courant et les conditions de contact, un modèle du corps humain est utilisé, représentant approximativement le contact complet main à main ou main à pied en situation normale. Pour de petites surfaces de contact (par exemple un petit contact de doigt), un modèle différent peut être approprié, mais ce modèle n'est pas abordé ici.

Parmi les quatre réponses, la réaction de tressaillement et le non-lâcher/l'immobilisation sont liés à la valeur de crête du COURANT DE CONTACT et varient avec la fréquence. Traditionnellement, les questions concernant les chocs électriques ont traité des formes d'onde sinusoïdales, pour lesquelles les mesurages de valeurs efficaces conviennent le mieux. Les mesurages de valeurs de crête sont plus appropriés pour les formes d'onde non sinusoïdales, pour lesquelles il est prévu des valeurs significatives du COURANT DE CONTACT, mais sont également utilisables pour les formes d'onde sinusoïdales. Les réseaux spécifiés pour le mesurage de la réaction de tressaillement et du non-lâcher/de l'immobilisation ont une réponse en fréquence et sont pondérés de telle façon que des valeurs limites uniques puissance-fréquence puissent être spécifiées et référencées.

Toutefois, les BRULURES ELECTRIQUES sont liées à la valeur efficace du COURANT DE CONTACT et sont relativement indépendantes de la fréquence. Pour les MATERIELS pour lesquels les BRULURES ELECTRIQUES peuvent être significatives (voir 7.2), deux mesurages séparés sont effectués, un en valeur de crête pour les chocs électriques et un second en valeur efficace pour les BRULURES ELECTRIQUES, chacun utilisant le circuit d'essai approprié.

Il convient que les comités de MATERIELS décident des effets physiologiques qui sont acceptables et des effets qui ne le sont pas et, à partir de là, qu'ils décident des valeurs limites de courant. Des comités concernés par certains types de MATERIELS peuvent adopter des procédures simplifiées, fondées sur la présente norme. Une discussion des valeurs limites, issue de travaux antérieurs de différents comités de MATERIEL de l'IEC, est donnée à l'Annexe D.

## Mesurage du COURANT DANS LE CONDUCTEUR DE PROTECTION

Dans certains cas, il est exigé de mesurer le COURANT DANS LE CONDUCTEUR DE PROTECTION des MATERIELS dans les conditions normales d'utilisation, notamment:

- pour le choix d'un dispositif de protection à courant résiduel,
- pour la détermination du moment auquel un circuit de terre de protection de haute intégrité de protection est exigé,
- pour prévenir toute surcharge excessive de COURANT DANS LE CONDUCTEUR DE PROTECTION dans l'installation électrique.

Le COURANT DANS LE CONDUCTEUR DE PROTECTION est mesuré par insertion d'un ampèremètre d'impédance négligeable en série avec le conducteur de mise à la terre de protection du MATERIEL.

# MÉTHODES DE MESURE DU COURANT DE CONTACT ET DU COURANT DANS LE CONDUCTEUR DE PROTECTION

## 1 Domaine d'application

La présente Norme internationale définit des méthodes de mesure pour

- les courants continus ou les courants alternatifs de forme d'onde sinusoïdale ou non sinusoïdale qui peuvent traverser le corps humain, et
- les courants qui peuvent circuler dans un conducteur de protection.

Les méthodes de mesure recommandées pour le COURANT DE CONTACT sont basées sur les effets possibles provoqués par le passage du courant dans le corps humain. Dans la présente norme, les mesurages de courant à travers des réseaux représentant l'impédance du corps humain sont appelés mesurages du COURANT DE CONTACT. Les réseaux utilisés ne sont pas nécessairement valables pour des animaux.

La spécification ou l'implication de valeurs limites spécifiques ne fait pas partie du domaine d'application de la présente norme. La série IEC TS 60479 fournit des informations concernant les effets du courant traversant le corps humain, à partir desquelles des valeurs limites peuvent être déduites.

La présente norme est applicable à toutes les classes de MATÉRIELS, conformément à l'IEC 61140.

Les méthodes de mesure indiquées dans la présente norme ne sont pas destinées à être utilisées pour

- les COURANTS DE CONTACT de durée inférieure à 1 s,
- les courants patients tels qu'ils sont définis dans l'IEC 60601-1,
- les courants alternatifs de fréquence inférieure à 15 Hz, et
- les courants supérieurs aux courants choisis pour les limites de BRULURE ELECTRIQUE.

La présente publication fondamentale de sécurité est destinée principalement à être utilisée par les comités d'études lors de la préparation de normes conformément aux principes figurant dans le Guide IEC 104 et le Guide ISO/IEC 51. Elle n'est pas destinée à être utilisée par les fabricants ou les organismes de certification indépendants de normes de produit.

L'une des responsabilités d'un comité d'études est d'utiliser, pour la préparation de ses publications, les publications fondamentales de sécurité, lorsque celles-ci sont applicables. Les exigences, méthodes d'essai ou conditions d'essai de la présente publication fondamentale de sécurité s'appliquent uniquement lorsqu'elles sont incorporées ou spécifiquement mentionnées dans les publications appropriées.

## 2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC TS 60479-1:2005, *Effets du courant sur l'homme et les animaux domestiques – Partie 1: Aspects généraux*

IEC TS 60479-2:2007, *Effets du courant sur l'homme et les animaux domestiques – Partie 2: Aspects particuliers*

IEC 61140, *Protection contre les chocs électriques – Aspects communs aux installations et aux matériels*

Guide ISO/IEC 51:2014, *Aspects liés à la sécurité – Principes directeurs pour les inclure dans les normes*

Guide IEC 104:2010, *The preparation of safety publications and the use of basic safety publications and group safety publications* (disponible en anglais seulement)

### **3 Termes et définitions**

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

#### **3.1**

##### **COURANT DE CONTACT**

courant électrique passant dans le corps humain ou dans le corps d'un animal lorsqu'il est en contact avec une ou plusieurs parties accessibles d'une installation ou de MATÉRIELS

[SOURCE: IEC 60050-195:1998, 195-05-21]

#### **3.2**

##### **COURANT DANS LE CONDUCTEUR DE PROTECTION**

courant circulant dans un conducteur de protection

#### **3.3**

##### **MATÉRIEL**

ensemble organisé de composants et de caractéristiques électromécaniques visant à réaliser une tâche définie (comme spécifié dans la norme de produit applicable)

Note 1 à l'article: S'il n'est pas spécifié dans la norme applicable, voir Annexe A.

#### **3.4**

##### **PARTIE PREHENSIBLE**

partie du MATÉRIEL qui peut fournir un courant dont le passage à travers la main humaine provoque des contractions musculaires autour de la partie et une incapacité de lâcher

Note 1 à l'article: Des parties qui sont destinées à être tenues avec la main entière sont considérées par hypothèse comme préhensibles, sans autre investigation.

#### **3.5**

##### **BRÛLURE ÉLECTRIQUE**

brûlure de la peau ou d'un organe, causée par le passage superficiel ou en profondeur d'un courant électrique

[SOURCE: IEC 60050-604:1987, 604-04-18]

## 4 Emplacement d'essai

### 4.1 Environnement de l'emplacement d'essai

Les exigences concernant l'environnement de l'emplacement d'essai doivent être conformes aux spécifications de la norme du MATERIEL. Si des valeurs limites inférieures à 70  $\mu\text{A}$  en valeur efficace ou 100  $\mu\text{A}$  en valeur de crête sont spécifiées, ou si le MATERIEL contient de larges écrans qui peuvent être parcourus par des signaux haute fréquence, les comités de produits doivent se référer à l'Annexe B.

### 4.2 Transformateur d'essai

L'utilisation d'un transformateur d'essai pour l'isolement est facultative. Pour une sécurité maximale, un transformateur d'essai pour l'isolement (T2 à la Figure 2, T de Figure 6 à la Figure 14) doit être utilisé et la borne principale de mise à la terre de protection du MATERIEL en essai (EUT – Equipment under test) doit alors être mise à la terre. Toute capacité de fuite dans le transformateur doit alors être prise en compte. En variante à la mise à la terre du MATERIEL en essai, le secondaire du transformateur d'essai et le MATERIEL en essai doivent être laissés flottants (non mis à la terre), auquel cas la capacité de fuite du transformateur d'essai n'a pas besoin d'être prise en compte.

Si le transformateur T n'est pas utilisé, le MATERIEL en essai doit être monté sur un support isolant et des précautions de sécurité appropriées doivent être prises étant donné que le corps du MATERIEL en essai peut se trouver à une tension dangereuse.

### 4.3 Conducteur neutre mis à la terre

Un MATERIEL prévu pour être connecté à un schéma de distribution d'énergie TT ou TN doit être soumis à l'essai avec une tension minimale entre neutre et terre.

NOTE Des descriptions des différents schémas de distribution d'énergie sont données à l'Annexe I.

Il convient que le conducteur de protection et le conducteur neutre mis à la terre pour le MATERIEL en essai aient une différence de potentiel inférieure à 1 % de la tension entre phases (voir exemple à la Figure 1).

Un transformateur local, voir 4.2, permet de satisfaire à cette exigence.

En variante, si la différence de potentiel est supérieure ou égale à 1 %, les exemples suivants donnent des méthodes qui, dans certains cas, permettent d'éviter les erreurs de mesure dues à cette différence de potentiel:

- connexion de l'électrode de la borne B du réseau de l'appareil de mesure à la borne de neutre du matériel en essai au lieu du conducteur de mise à la terre de protection (voir 6.1.2) de l'alimentation;
- connexion de la borne de terre du matériel en essai au conducteur de neutre, au lieu du conducteur de mise à la terre de protection, de l'alimentation.

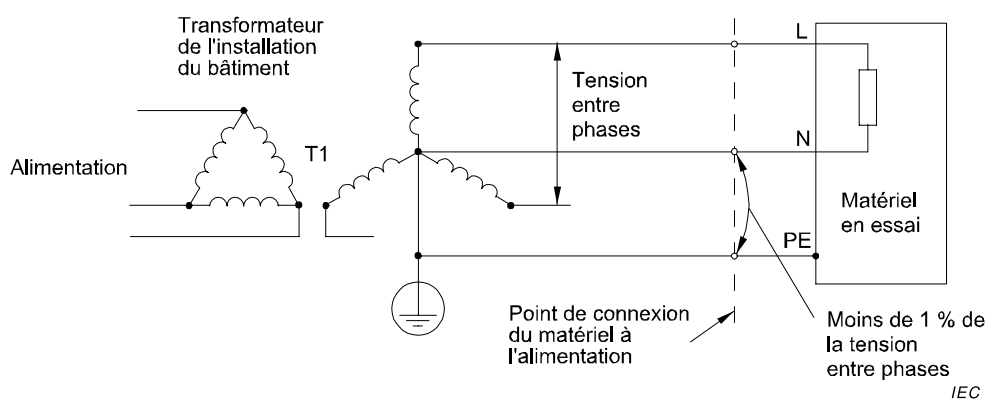


Figure 1 – Exemple de neutre mis à la terre, alimentation directe

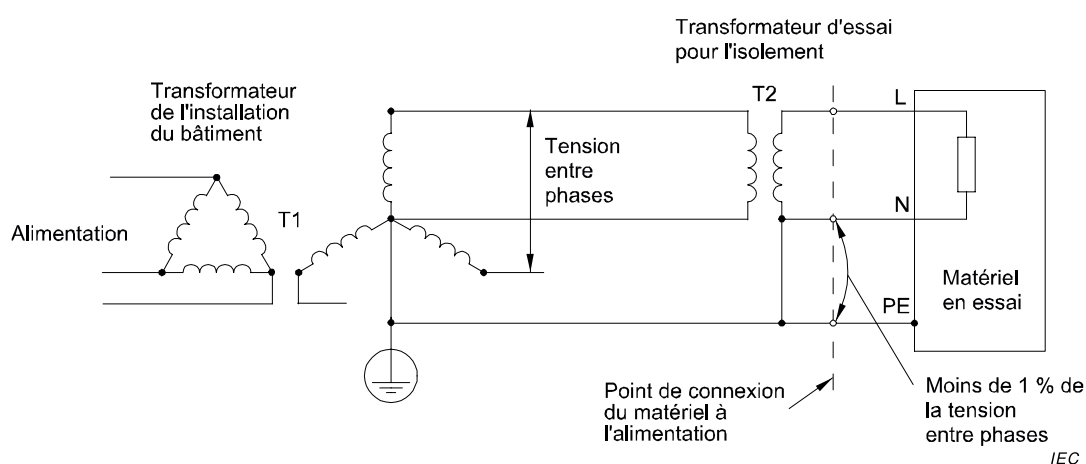


Figure 2 – Exemple de neutre mis à la terre, avec transformateur pour l'isolement

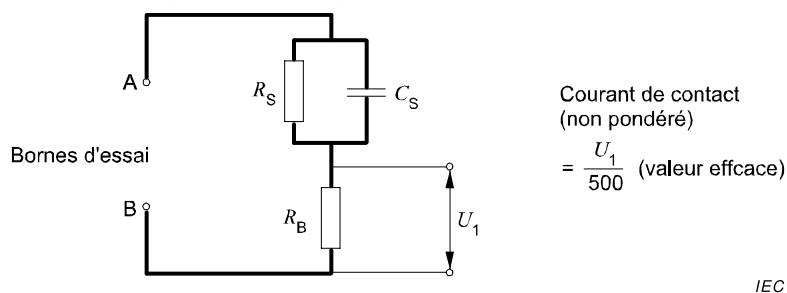
## 5 Matériel de mesure

### 5.1 Choix du réseau de mesure

#### 5.1.1 Généralités

Les mesurages doivent être effectués à l'aide d'un des réseaux de la Figure 3, de la Figure 4 et de la Figure 5.

NOTE Voir les Annexes E, F et G pour de plus amples informations sur ces trois réseaux.

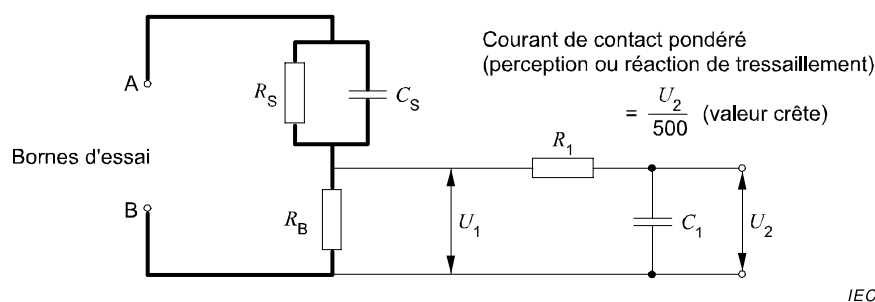


$$R_S = 1\,500\ \Omega$$

$$R_B = 500\ \Omega$$

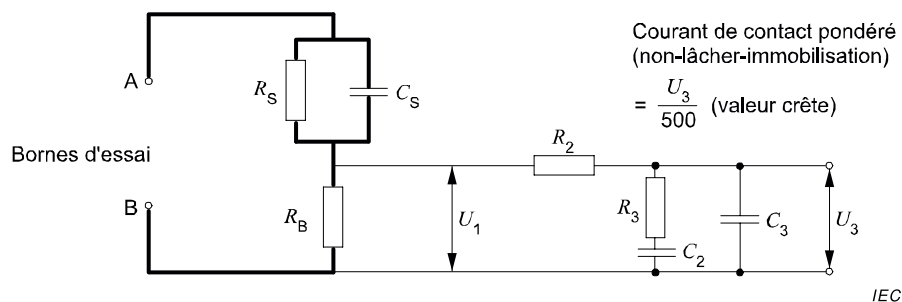
$$C_S = 0,22\ \mu\text{F}$$

Figure 3 – Réseau de mesure, courant de contact non pondéré



|       |                    |       |                     |
|-------|--------------------|-------|---------------------|
| $R_S$ | 1 500 $\Omega$     | $R_1$ | 10 000 $\Omega$     |
| $R_B$ | 500 $\Omega$       | $C_1$ | 0,022 $\mu\text{F}$ |
| $C_S$ | 0,22 $\mu\text{F}$ |       |                     |

**Figure 4 – Réseau de mesure, courant de contact pondéré pour la perception ou la réaction de tressaillement**



|       |                    |       |                       |
|-------|--------------------|-------|-----------------------|
| $R_S$ | 1 500 $\Omega$     | $R_3$ | 20 000 $\Omega$       |
| $R_B$ | 500 $\Omega$       | $C_2$ | 0,006 2 $\mu\text{F}$ |
| $C_S$ | 0,22 $\mu\text{F}$ | $C_3$ | 0,009 1 $\mu\text{F}$ |
| $R_2$ | 10 000 $\Omega$    |       |                       |

NOTE Pour les conditions spéciales d'utilisation de ce réseau, voir 5.1.2.

**Figure 5 – Réseau de mesure, courant de contact pondéré pour le non-lâcher / l'immobilisation**

### 5.1.2 Perception et réaction de tressaillement

Le réseau de la Figure 4 doit être utilisé pour les limites de choc électrique de faible niveau. Ce circuit doit être appliqué lorsque la valeur limite du courant alternatif indiquée dans la norme de produit est égale au maximum à 2 mA en valeur efficace ou 2,8 mA en valeur de crête.

### 5.1.3 Non-lâcher/immobilisation

Le réseau de la Figure 5 doit être utilisé pour les limites de choc électrique de niveau élevé. Ce circuit doit être appliqué lorsque la valeur limite du courant alternatif indiquée dans la norme de produit est supérieure à 2 mA en valeur efficace ou 2,8 mA en valeur de crête.

### 5.1.4 Brûlures électriques (courant alternatif)

Le réseau de COURANT DE CONTACT non pondéré de la Figure 3 doit être utilisé.

### 5.1.5 Courant continu sans ondulation

L'un quelconque des trois réseaux doit être utilisé. Sauf spécification contraire dans la norme du MATERIEL, le courant continu sans ondulation signifie moins de 10 % d'ondulation crête à crête.

## 5.2 Électrodes d'essai

### 5.2.1 Construction

Sauf spécification contraire dans la norme du MATERIEL, les électrodes d'essai doivent être

- un clip d'essai, ou
- une feuille de métal de 10 cm × 20 cm représentant la main humaine. Si une feuille adhésive est utilisée, l'adhésif doit être conducteur.

### 5.2.2 Connexion

Les électrodes d'essai doivent être connectées aux bornes A et B du réseau de mesure.

## 5.3 Configuration

Le MATERIEL en essai doit être complètement assemblé et prêt pour l'utilisation dans la configuration maximale; il doit être connecté à des tensions de signal externes lorsque cela est applicable, suivant les spécifications du fabricant pour un seul MATERIEL.

Les MATERIELS qui sont prévus pour des sources d'alimentation multiples et pour lesquels une seule alimentation est exigée à la fois (par exemple pour alimentation de secours) ne doivent être soumis à l'essai qu'avec une seule source connectée.

Les MATERIELS pour lesquels une alimentation simultanée à partir de deux sources ou plus est exigée doivent être soumis à l'essai avec toutes les sources connectées mais avec pas plus d'une connexion à la terre de protection.

## 5.4 Connexions à l'alimentation pendant l'essai

### 5.4.1 Généralités

NOTE Des exemples de schémas de distribution d'énergie sont donnés à l'Annexe I.

Le MATERIEL doit être connecté dans une configuration d'essai comme représenté de la Figure 6 à Figure 14, conformément à 5.4.2, 5.4.3 ou 5.4.4, selon le cas.

Il convient que les comités de MATERIELS considèrent le besoin éventuel pour le fabricant d'identifier les schémas de distribution d'énergie (TN, TT, IT) auxquels un MATERIEL est destiné à être relié dans son utilisation finale.

Si le fabricant spécifie que le MATERIEL en essai ne peut être utilisé que dans certains schémas de distribution d'énergie, le MATERIEL ne doit être soumis à l'essai que lorsqu'il est relié à ces schémas.

Un MATERIEL devant être connecté uniquement à des schémas TN ou TT doit satisfaire à 5.4.2. Un MATERIEL devant être connecté à des schémas IT doit satisfaire à 5.4.3 et peut aussi être connecté à des schémas TN ou TT.

Pour les MATERIELS de la classe 0 et de la classe II (voir IEC 61140), il n'est pas tenu compte des conducteurs de protection représentés de la Figure 6 à la Figure 14 incluses.

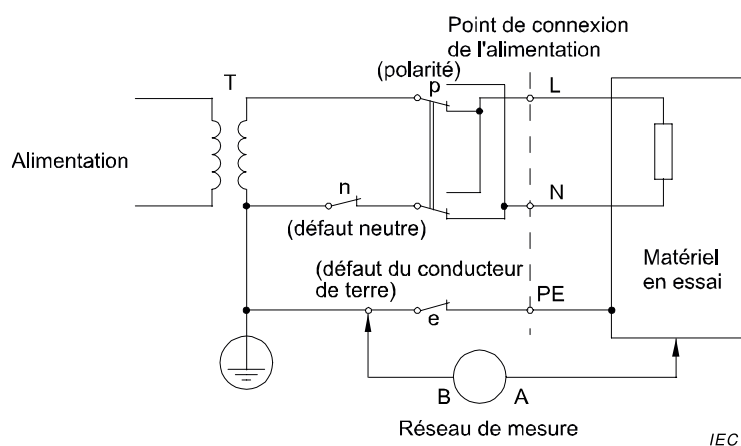
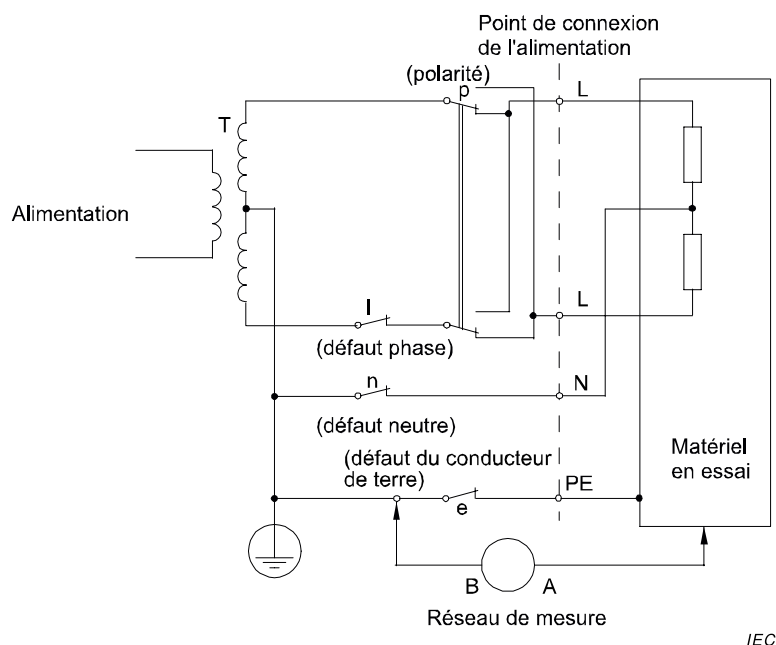


Figure 6 – Matériel monophasé dans un schéma étoile TN ou TT



L'enroulement à prise médiane peut être une branche d'une alimentation triangle.

Figure 7 – Matériel monophasé dans un schéma TN ou TT avec point milieu à la terre

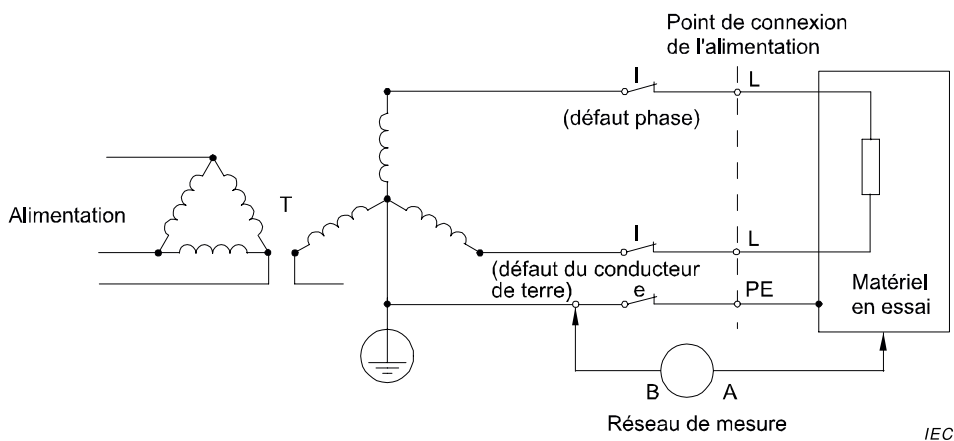
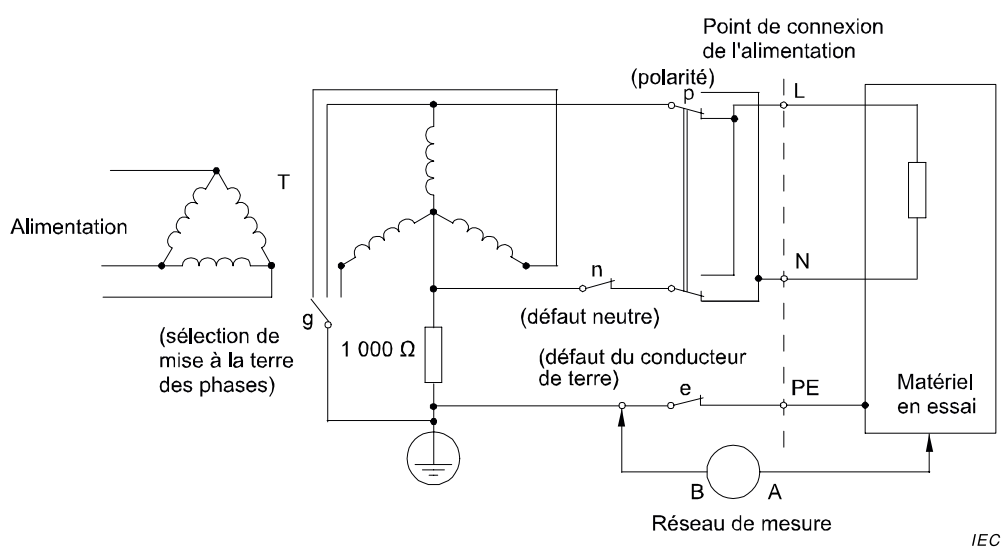
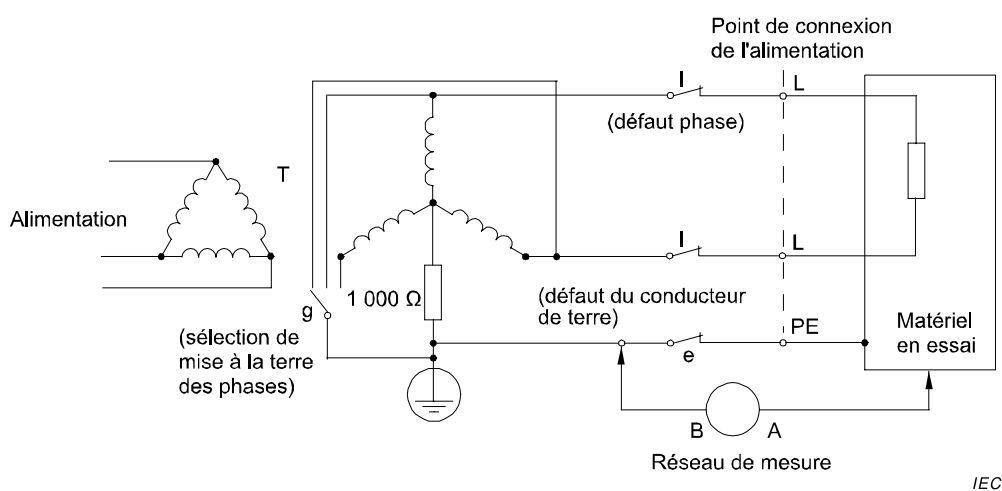


Figure 8 – Matériel monophasé connecté entre phases dans un schéma étoile TN ou TT



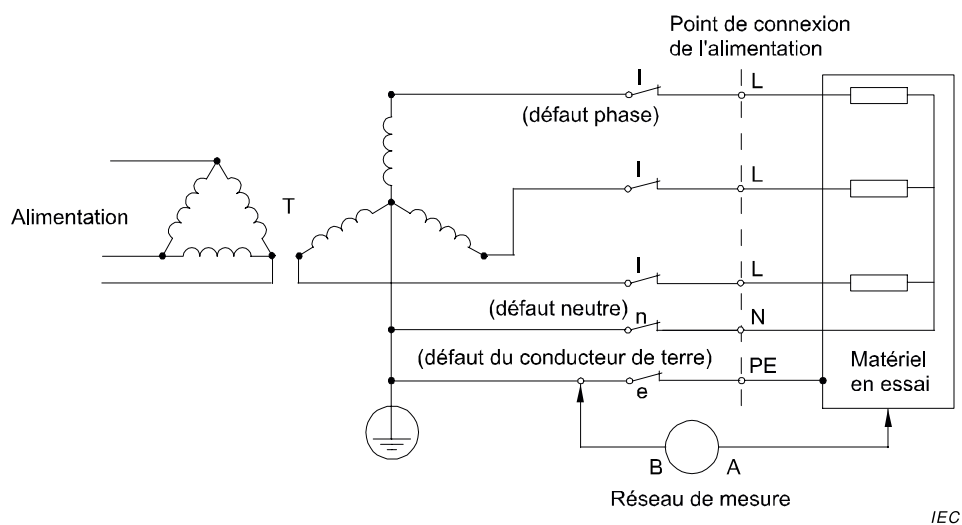
Il convient que la résistance de  $1\,000\ \Omega$  soit adaptée pour les défauts du système d'alimentation.

**Figure 9 – Matériel monophasé connecté entre phase et neutre dans un schéma étoile IT**

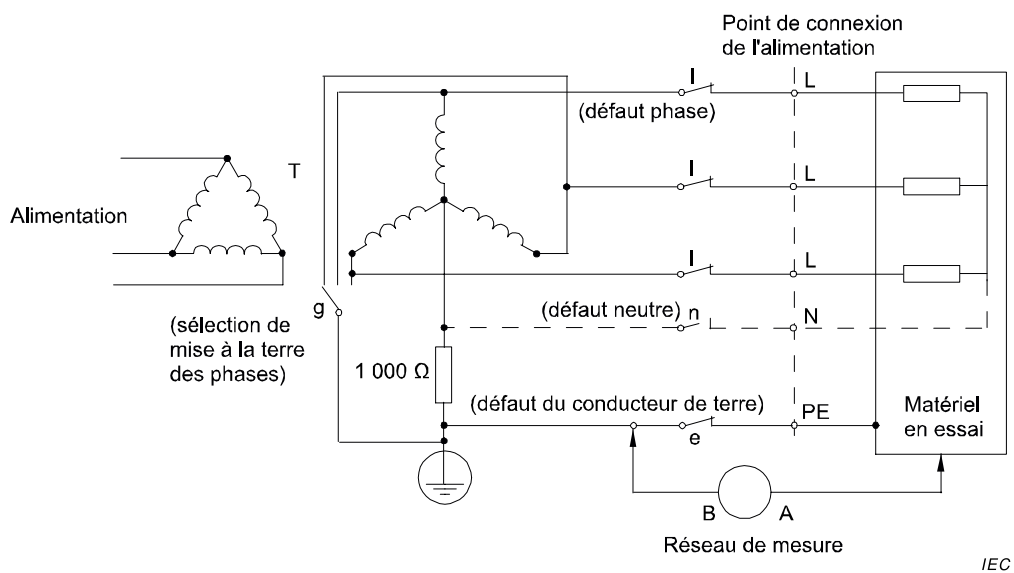


Il convient que la résistance de  $1\,000\ \Omega$  soit adaptée pour les défauts du système d'alimentation.

**Figure 10 – Matériel monophasé connecté entre phases dans un schéma étoile IT**

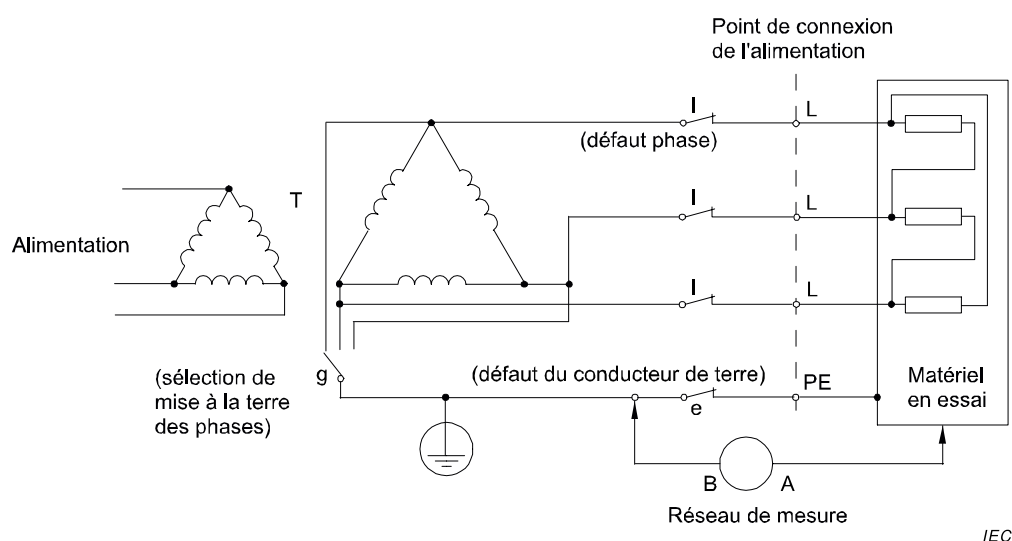


**Figure 11 – Matériel triphasé dans un schéma étoile TN ou TT**

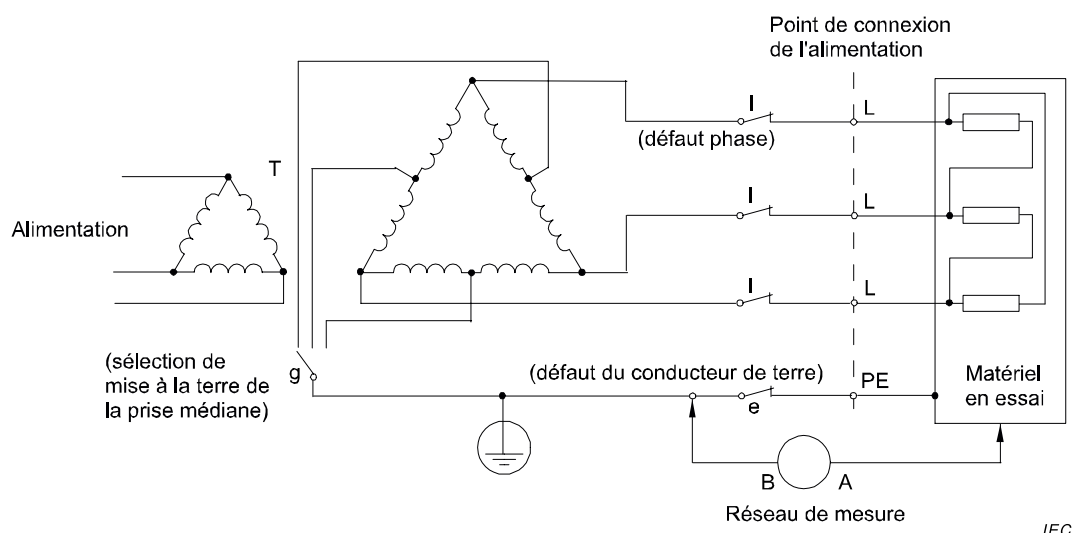


Il convient que la résistance de 1 000 Ω soit adaptée pour les défauts du système d'alimentation.

**Figure 12 – Matériel triphasé dans un schéma étoile IT**



**Figure 13 – Schéma triangle non mis à la terre**



Lorsqu'un MATERIEL contient à la fois une charge triphasée et une charge monophasée dont le point milieu est relié à la terre, et lorsque le côté mis à la terre est identifié, le commutateur g doit rester dans la position identifiée comme correspondant au côté relié à la terre.

**Figure 14 – Matériel triphasé dans un schéma triangle avec point milieu mis à la terre**

#### 5.4.2 Matériel pour utilisation uniquement dans des schémas de distribution d'énergie étoile TN ou TT

Un MATERIEL triphasé doit être connecté à un schéma de distribution d'énergie triphasé étoile avec le neutre à la terre. Un MATERIEL monophasé doit être connecté entre phase et neutre d'un schéma de distribution d'énergie ayant le neutre à la terre ou, s'il est spécifié par le fabricant comme pouvant être utilisé de cette manière, entre phases d'un schéma de distribution d'énergie étoile triphasé dont le point milieu est relié à la terre (voir Figure 6, Figure 8 et Figure 11).

#### 5.4.3 Matériel pour utilisation dans des schémas de distribution d'énergie IT, y compris les schémas triangle non reliés à la terre

Un MATERIEL triphasé doit être connecté à un schéma d'alimentation triphasé IT approprié. Un MATERIEL monophasé doit être connecté entre phase et neutre ou, s'il est spécifié par le

fabricant comme pouvant être utilisé de cette manière, entre phases (voir Figure 9, Figure 10, Figure 12 et Figure 13).

#### **5.4.4 Matériel pour utilisation dans des schémas d'alimentation monophasés dont le point milieu est à la terre ou dans des schémas d'alimentation triangle dont le point milieu est à la terre**

Un MATERIEL monophasé doit être connecté à l'alimentation ayant sa prise médiane reliée à la terre (voir Figure 7 et Figure 14).

Un MATERIEL triphasé doit être connecté à l'alimentation triangle appropriée (voir Figure 14).

### **5.5 Tension et fréquence d'alimentation**

#### **5.5.1 Tension d'alimentation**

La tension d'alimentation doit être mesurée aux bornes d'alimentation du MATERIEL.

Traditionnellement, le COURANT DE CONTACT était à son maximum à la tension d'alimentation la plus élevée. Les alimentations électroniques modernes ne fournissent pas toujours un COURANT DE CONTACT maximal dans ces conditions d'alimentation. Le COURANT DE CONTACT peut être maximisé à la tension la plus basse, c'est-à-dire l'appel de courant maximal, ou dans d'autres conditions. Une protection contre les chocs électriques doit être assurée dans les conditions de fonctionnement du cas le plus défavorable.

Un MATERIEL ayant une seule tension assignée doit être soumis à l'essai à sa tension assignée, majorée d'une tolérance de travail appropriée pour tenir compte des variations de l'alimentation.

Un MATERIEL ayant une plage de tensions nominales doit être soumis à l'essai aux valeurs extrêmes de la plage de tensions, majorée d'une tolérance de travail appropriée pour tenir compte des variations de l'alimentation. La tolérance de travail est déterminée par le comité de MATERIEL ou par le fabricant, si nécessaire (par exemple 0 %, -10 %, +6 % ou +10 %).

Un MATERIEL ayant différentes tensions nominales ou différentes plages de tensions nominales, par utilisation d'un sélecteur de tension, doit être réglé pour la tension nominale ou la plage de tensions nominales la plus élevée, puis traité comme ci-dessus. Lorsque le changement de tension implique des commutations plus complexes qu'un réaménagement des enroulements d'un transformateur, des essais complémentaires peuvent être nécessaires pour déterminer le cas le plus défavorable.

S'il n'est pas pratique d'effectuer l'essai sur un MATERIEL à la tension spécifiée, il est autorisé d'effectuer l'essai à une tension quelconque disponible, comprise dans la plage assignée du MATERIEL et, ensuite, de calculer les résultats.

#### **5.5.2 Fréquence d'alimentation**

La fréquence d'alimentation doit être la fréquence nominale maximale assignée ou, en variante, les mesurages peuvent être corrigés par calcul pour l'estimation du courant dans le cas le plus défavorable.

## **6 Procédure d'essai**

### **6.1 Généralités**

#### **6.1.1 Mesurages du courant de contact**

Les comités de produits peuvent souhaiter exclure les mesurages du COURANT DE CONTACT sur certaines parties accessibles, en se basant sur le principe de la limitation de la tension (voir IEC 60364-4-41). Dans ce cas, les mesurages doivent être effectués pour les tensions accessibles et ensuite, si nécessaire, pour des COURANTS DE CONTACT pondérés ou non pondérés, conformément à l'Article 6.

Les effets des BRULURES ELECTRIQUES sont à prendre en compte avec un courant continu ou à haute fréquence (par exemple fréquence supérieure à 30 kHz pour un COURANT DE CONTACT de 3,5 mA). À des fréquences plus basses, la réaction de tressaillement et le non-lâcher/l'immobilisation sont les phénomènes prédominants. Si de tels effets sont pris en compte, la valeur efficace non pondérée du COURANT DE CONTACT doit être mesurée (Figure 3), en plus des mesurages concernant la réaction de tressaillement (Figure 4) ou l'incapacité de lâcher (Figure 5).

#### **6.1.2 Auxiliaires de commande, matériel et conditions d'alimentation**

Pendant les mesurages du COURANT DE CONTACT, l'environnement d'essai, la configuration, la mise à la terre et le système d'alimentation doivent être conformes à 5.3, 5.4 et 5.5.

Afin d'obtenir les valeurs de courant les plus élevées possibles pendant les mesurages, on doit faire varier la configuration par la connexion et la déconnexion d'unités faisant partie du MATERIEL, comme l'autorisent les instructions du fabricant pour le fonctionnement et l'installation.

Les auxiliaires de commande e, g, l, n et p représentés de la Figure 6 à la Figure 14 doivent être actionnés comme décrit en 6.2, pendant que les conditions énumérées dans le présent paragraphe et en 6.2.1 font chacune, indépendamment les unes des autres, l'objet de variations de manière à obtenir la ou les valeurs maximales mesurées. Les comités de produits doivent faire une sélection appropriée des variables obtenues. L'ajout récent du FONCTIONNEMENT ANORMAL comme condition de fonctionnement dans les normes de produits liées aux installations électriques (par exemple, un défaut du conducteur de protection ou l'incapacité d'assurer la polarité de l'alimentation) clarifie les conditions d'essai en FONCTIONNEMENT NORMAL et dans les CONDITIONS DE DEFAULT à appliquer par la suite.

#### **6.1.3 Utilisation des réseaux de mesure**

Des électrodes de mesure (voir 5.2), un réseau de mesure (voir 5.1) et un dispositif de mesure (voir G.4) appropriés doivent être utilisés conformément aux schémas appropriés représentés de la Figure 6 à la Figure 14 (voir 5.4) pour effectuer les mesurages du COURANT DE CONTACT entre les parties simultanément accessibles, et entre les parties accessibles et la terre.

L'électrode de la borne A doit être appliquée successivement à chaque partie accessible.

Pour chaque application de l'électrode de la borne A, l'électrode de la borne B doit être appliquée à la terre, puis appliquée successivement à chacune des autres parties accessibles.

Pour les systèmes d'alimentation avec un conducteur d'alimentation mis à la terre, l'électrode de la borne B peut être reliée directement au conducteur d'alimentation mis à la terre à l'interface du MATERIEL en essai et de l'alimentation, au lieu d'être reliée au conducteur de protection. Cette connexion peut être utilisée même si la différence de potentiel entre le

conducteur de protection et le conducteur d'alimentation mis à la terre est supérieure à 1 % de la tension entre phases (voir 4.2).

## **6.2 Fonctionnement normal et conditions de défaut du matériel**

### **6.2.1 Fonctionnement normal du matériel**

L'essai est effectué avec la borne A du réseau de mesure reliée successivement à chaque circuit ou partie accessible conductrice ou non mise à la terre, avec tous les commutateurs d'essai I, n et e fermés.

Les mesurages doivent être effectués dans toutes les conditions applicables de fonctionnement normal.

Exemples de fonctionnement normal: mise sous tension, mise hors tension, régime de veille, démarrage, chauffage, tout réglage des commandes utilisables par l'opérateur à l'exception des commandes de réglage de la tension d'alimentation.

Un MATERIEL monophasé doit être soumis à l'essai en polarité normale et inverse (commutateur p).

Un MATERIEL triphasé doit être soumis à l'essai avec inversion des phases, à moins que le fonctionnement du MATERIEL ne dépende du phasage.

### **6.2.2 Conditions de défaut du matériel et de l'alimentation**

#### **6.2.2.1 Généralités**

Pour les MATERIELS n'ayant pas de connexion à la terre, 6.2.2 ne s'applique pas.

Pour les MATERIELS ayant une connexion de terre de protection ou une connexion de terre fonctionnelle, la borne A du réseau de mesure est connectée à la borne de terre du MATERIEL en essai.

Les mesurages doivent être effectués avec chacune des conditions de défaut applicables spécifiées de 6.2.2.2 à 6.2.2.9 inclus. Les défauts doivent être appliqués l'un après l'autre mais doivent inclure tout défaut qui soit le résultat logique du premier défaut. Avant l'application d'un défaut, le MATERIEL doit être remis dans ses conditions initiales (par exemple, sans défaut ni dommage en résultant).

Si un filtre de ligne équilibré est utilisé dans un MATERIEL triphasé, le courant net à la terre résultant est théoriquement égal à zéro. Toutefois, il est normal qu'un composant et une tension déséquilibrés produisent une valeur finie du courant net, dont la valeur maximale peut ne pas être mesurée lors d'un essai de type. Des courants déséquilibrés plus importants résultent d'une défaillance d'un condensateur dans une phase. Il convient que les comités de MATERIELS envisagent l'introduction d'un essai pour de tels MATERIELS, prévoyant la substitution d'un défaut délibéré du filtre (un condensateur débranché) ainsi qu'un défaut de la connexion de terre de protection (voir 6.2.2.2).

Des considérations analogues s'appliquent à des dispositions équilibrées d'autres composants tels que parafoudres, reliés entre le réseau d'alimentation et la terre.

Un MATERIEL triphasé doit être soumis à l'essai avec inversion des phases, à moins que le fonctionnement du MATERIEL ne dépende du phasage.

#### **6.2.2.2 Condition de défaut n° 1**

En fonction du type de MATERIEL, plusieurs degrés de sécurité du conducteur de protection doivent être distingués (voir IEC 61140).

Un MATERIEL monophasé non relié de façon sûre à la terre doit être soumis à l'essai avec défaut de la connexion de terre de protection (commutateur e) en combinaison avec la polarité normale et inverse (commutateur p).

Un MATERIEL triphasé non relié à la terre de façon sûre doit être soumis à l'essai avec défaut de la connexion de terre de protection (commutateur e).

À moins d'une décision contraire du comité de produits, les exigences du présent paragraphe ne s'appliquent pas aux MATERIELS reliés de façon sûre à la terre qui sont connectés à l'alimentation soit de façon permanente, soit par l'intermédiaire de prises et de socles industriels (par exemple prises et socles spécifiés dans l'IEC 60309-1 ou dans une norme nationale équivalente).

#### **6.2.2.3 Condition de défaut n° 2**

Un MATERIEL monophasé doit être soumis à l'essai avec le neutre interrompu (commutateur n), avec la terre intacte et en polarité normale, et ensuite en polarité inverse (commutateur p).

#### **6.2.2.4 Condition de défaut n° 3**

Un MATERIEL destiné à être utilisé dans les schémas IT doit être soumis à l'essai en mettant, à tour de rôle, chaque conducteur de phase défectueux à la terre (commutateur g).

#### **6.2.2.5 Condition de défaut n° 4**

Un MATERIEL triphasé doit être soumis à l'essai en ouvrant, à tour de rôle, chaque conducteur de phase (commutateurs l).

#### **6.2.2.6 Condition de défaut n° 5**

Un MATERIEL monophasé, destiné à être utilisé dans des schémas d'alimentation IT ou dans des schémas triphasés triangle doit être soumis à l'essai dans un schéma d'alimentation triphasé, chaque phase défectueuse mise à la terre à tour de rôle (commutateur g), en combinaison avec polarité normale et inverse (commutateur p) et séparément avec ouverture de chaque conducteur de phase à tour de rôle (commutateurs l), et en combinaison avec polarité normale et inverse (commutateur p).

#### **6.2.2.7 Condition de défaut n° 6**

Un MATERIEL triphasé destiné à être utilisé dans des schémas d'alimentation triangle dont le point milieu est relié à la terre doit être soumis à l'essai dans un schéma d'alimentation triangle, chaque point milieu de branche étant relié à la terre, à tour de rôle (commutateur g).

Un MATERIEL comprenant à la fois des circuits triphasés et des circuits dont le point milieu est relié à la terre, qui ne peuvent être installés indépendamment et dont une branche mise à la terre a été identifiée, doit être soumis à l'essai avec le commutateur g réglé uniquement sur la position correspondant à la branche mise à la terre identifiée.

#### **6.2.2.8 Condition de défaut n° 7**

D'autres défauts, comme spécifiés par le comité de produits, doivent être simulés s'ils sont susceptibles d'augmenter le COURANT DE CONTACT.

### 6.2.2.9 Condition de défaut n° 8

Les parties conductrices accessibles qui ne sont que fortuitement reliées électriquement à d'autres parties doivent être soumises à l'essai, d'une part, lorsqu'elles sont reliées électriquement à ces autres parties et, d'autre part, lorsqu'elles ne sont pas reliées électriquement à ces autres parties. Voir l'Annexe C pour ce qui concerne les parties connectées fortuitement.

## 7 Évaluation des résultats

### 7.1 Perception, réaction de tressaillement et non-lâcher/immobilisation

Les tensions  $U_2$  et  $U_3$  de la Figure 4 et de Figure 5 sont des valeurs de  $U_1$  pondérées en fréquence de telle manière qu'une indication unique équivalente en basse fréquence soit le résultat du COURANT DE CONTACT pour toutes les fréquences supérieures à 15 Hz. Ces valeurs pondérées du COURANT DE CONTACT sont prises comme étant les plus fortes valeurs de  $U_2$  et  $U_3$  mesurées pendant la procédure de l'Article 6, divisées par 500  $\Omega$ . Les valeurs maximales sont comparées aux limites pour la perception ou la réaction de tressaillement et le non-lâcher/l'immobilisation spécifiées pour le MATERIEL (par exemple valeur limite à 50 Hz ou 60 Hz).

Les mesurages pour les limites en courant continu sont réalisés de la même manière, mais en prenant  $U_1$  divisé par 500  $\Omega$  (voir aussi Annexe G).

### 7.2 Effets des brûlures électriques

Si les effets de BRULURES ELECTRIQUES sont à prendre en compte (voir 6.1), la valeur efficace non pondérée ou la valeur en courant continu du COURANT DE CONTACT est mesurée. Cette valeur est calculée à partir de la tension efficace  $U_1$ , mesurée aux bornes de la résistance de 500  $\Omega$  du réseau de mesure de la Figure 3.

L'effet du COURANT DE CONTACT dépend aussi de la surface de contact avec le corps humain et de la durée du contact. Le rapport entre ces paramètres et la fixation des limites du COURANT DE CONTACT ne relèvent pas du domaine d'application de la présente norme (voir aussi l'Article D.3).

NOTE Les BRULURES ELECTRIQUES proviennent de la puissance dissipée par le courant circulant à travers la résistance de la peau et du corps humains. D'autres formes de brûlures peuvent provenir du MATERIEL électrique, par exemple à cause d'un arc ou des dérivés d'un arc.

## 8 Mesurage du courant dans le conducteur de protection

### 8.1 Généralités

Les exigences et les valeurs du courant dans les conducteurs de protection n'ont pas de relation avec le COURANT DE CONTACT. Par conséquent, leurs limites et méthodes de mesure sont traitées séparément.

### 8.2 Matériels multiples

Dans le cadre de MATERIELS individuels mis à la terre de façon commune, les COURANTS DANS LES CONDUCTEURS DE PROTECTION se combinent de façon non arithmétique. C'est pourquoi le COURANT DANS LE CONDUCTEUR DE PROTECTION d'une installation mise à la terre par un seul conducteur de mise à la terre de protection ne peut être convenablement estimé à partir de la connaissance des COURANTS DANS LES CONDUCTEURS DE PROTECTION DES MATERIELS individuels. En conséquence, les mesurages sur un MATERIEL individuel sont de peu d'intérêt et le COURANT DANS LE CONDUCTEUR DE PROTECTION pour ce groupe de MATERIELS doit être mesuré dans le conducteur commun de mise à la terre de protection.

### **8.3 Méthode de mesure**

Le COURANT DANS LE CONDUCTEUR DE PROTECTION doit être mesuré après l'installation de tous les MATERIELS, par insertion d'un ampèremètre d'impédance négligeable (par exemple  $0,5 \Omega$ ) en série avec le conducteur de protection. Le mesurage du COURANT DANS LE CONDUCTEUR DE PROTECTION est effectué avec le MATERIEL et le schéma de distribution d'énergie fonctionnant dans tous les modes normaux de fonctionnement.

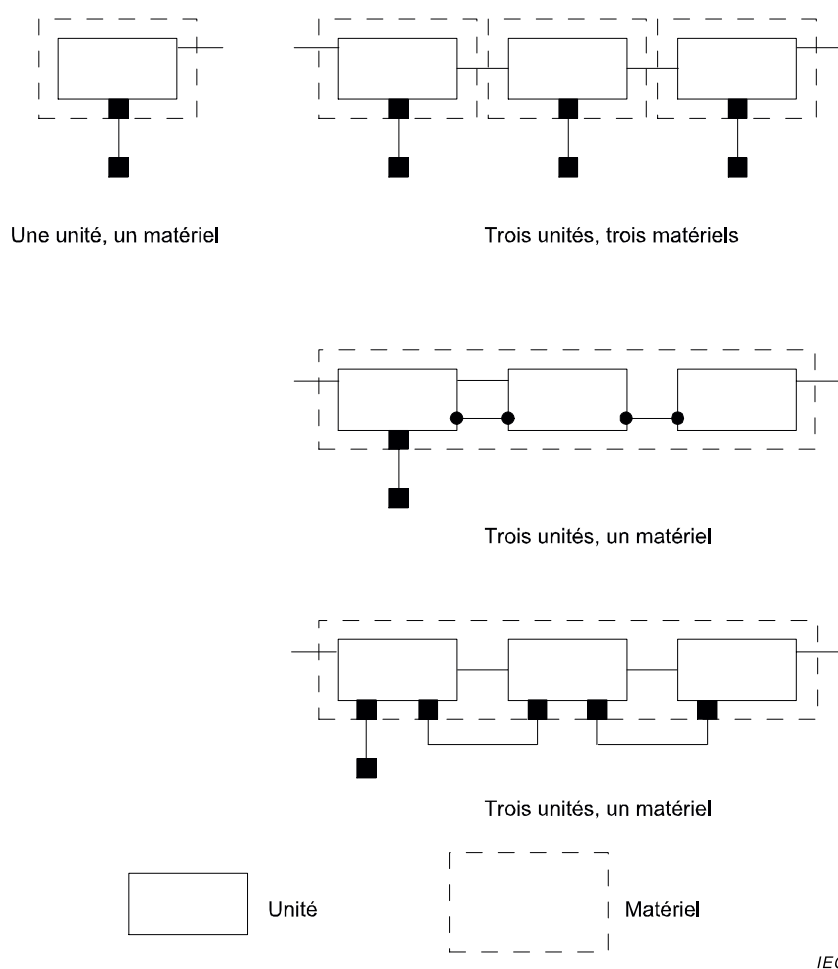
## Annexe A (normative)

### Matériel

Sauf indication contraire dans la norme de MATERIEL, le MATERIEL est identifié comme ayant une seule connexion à une source électrique.

Un MATERIEL peut être une seule unité ou peut être constitué d'unités physiquement indépendantes et électriquement interconnectées (voir Figure A.1). L'alimentation électrique peut être contenue dans le MATERIEL (par exemple, sources solaires ou batteries).

La connexion des câbles signaux doit être considérée comme faisant partie du MATERIEL, conformément à 5.4.



#### Légende

- — ■ Connexion à l'alimentation compatible avec l'alimentation locale
- — ● Connexion à l'alimentation non prévue pour être reliée directement à l'alimentation locale
- Autres connexions

**Figure A.1 – Matériel**

## Annexe B (normative)

### Utilisation d'un plan conducteur

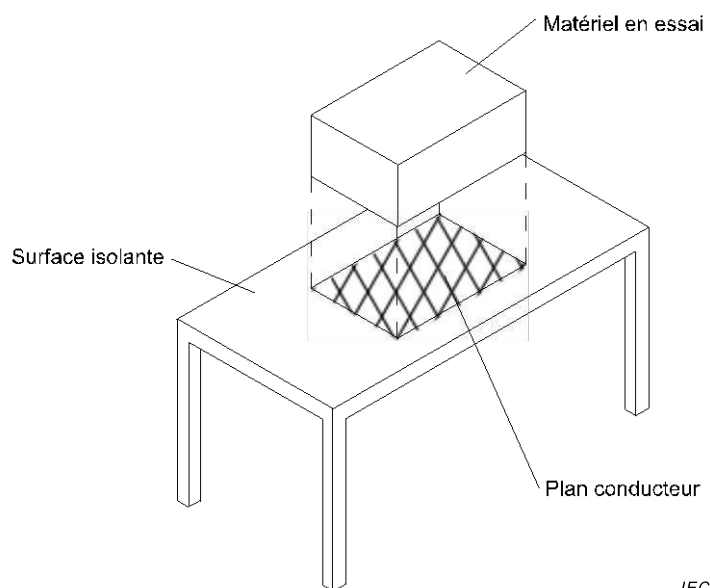
Lorsque des limites du COURANT DE CONTACT (avec ou sans pondération en fréquence) de moins de  $70 \mu\text{A}$  en valeur efficace ou de  $100 \mu\text{A}$  en valeur de crête sont spécifiées, ou lorsque le MATERIEL soumis à l'essai présente un important couplage capacitif avec des surfaces extérieures qui peuvent, de ce fait, être parcourues par des courants à haute fréquence (par exemple des générateurs de signaux à haute fréquence et des appareils de mesure de tension), il est approprié de mesurer le courant qui est couplé capacitivement dans une surface conductrice placée sous ou contre une surface du MATERIEL. Si le MATERIEL doit être soumis à l'essai de cette manière, il doit être placé sur un plan conducteur qui lui-même repose sur une surface isolante (voir Figure B.1).

La surface et le périmètre du plan conducteur doivent être égaux ou supérieurs à ceux de la surface adjacente du MATERIEL.

Les mesurages doivent être effectués conformément à l'Article 6, en considérant le plan conducteur comme une partie accessible.

Les mesurages doivent être répétés avec le plan conducteur placé contre toute autre surface du MATERIEL qui peut devenir adjacente à un plan conducteur extérieur.

Pour des raisons de protection contre les brouillages électromagnétiques, il peut être nécessaire de placer le MATERIEL (y compris le plan conducteur, s'il est utilisé) à au moins 0,5 m d'autres conducteurs ou d'autres MATERIELS.



IEC

Figure B.1 – Plate-forme d'essai

## **Annexe C** (normative)

### **Parties connectées fortuitement**

Les parties connectées fortuitement sont des parties conductrices accessibles qui ne sont ni reliées de manière sûre à la terre ou à une tension quelconque spécifiée, ni absolument isolées de celles-ci.

Exemples de parties connectées fortuitement:

- portes et assemblages fixés par des charnières métalliques;
- étiquettes adhésives contenant une partie conductrice accessible (par exemple, une feuille métallique);
- parties qui sont fixées sur des surfaces peintes ou anodisées;
- poignées de commande.

Certains échantillons de production du MATERIEL peuvent avoir une partie connectée fortuitement reliée effectivement à la terre ou à un autre circuit. Dans d'autres échantillons, cette même partie peut être isolée de la terre ou d'autres circuits. Comme, en général, il est difficile de savoir quel cas produira le COURANT DE CONTACT le plus élevé, 6.2.2 exige de mesurer le COURANT DE CONTACT dans les deux cas, afin de déterminer le cas le plus défavorable. Toutefois, si la fréquence prédominante est inférieure à 100 Hz, le cas le plus défavorable est très probablement celui dans lequel la partie connectée fortuitement est reliée aux autres parties.

## **Annexe D** (informative)

### **Choix des limites de courant**

#### **D.1 Généralités**

Lors de l'élaboration des procédures spécifiées dans la présente norme, certaines hypothèses ont été faites sur les limites de courant que les comités de produits utiliseraient. Ce travail a été nécessaire afin de choisir, dans l'IEC TS 60479-1, les données appropriées nécessaires à la conception des réseaux de mesure de la Figure 3, de la Figure 4 et de la Figure 5.

Ces hypothèses étaient basées sur des publications IEC antérieures. Les valeurs de courant données dans la présente annexe ne sont que des exemples. Elles sont indiquées ci-dessous afin d'aider les comités de produits dans le choix des limites de courant.

#### **D.2 Exemples de limites**

##### **D.2.1 Fibrillation ventriculaire**

Pas de limite considérée.

Il est considéré que les limites choisies pour le COURANT DE CONTACT sont largement inférieures au seuil de fibrillation ventriculaire.

##### **D.2.2 Non-lâcher/immobilisation**

La méthode de mesure est spécifiée dans la présente norme.

L'IEC TS 60479-1 indique 10 mA en valeur efficace, comme niveau de seuil moyen approximatif pour le courant de non-lâcher/d'immobilisation, alors que la valeur de 5 mA en valeur efficace, comme proposé pour l'IEC TS 60479-1, inclurait l'entière population adulte. Voir la Figure F.3 pour les effets de la fréquence.

##### **D.2.3 Réaction de tressaillement**

La méthode de mesure est spécifiée dans la présente norme.

Le seuil de réaction de tressaillement donné dans l'IEC TS 60479-1 est approximativement de 0,5 mA en valeur efficace, pour les basses fréquences. Différentes limites sont utilisées entre les seuils de réaction de tressaillement et de non-lâcher/immobilisation.

##### **D.2.4 Seuil de perception**

Le COURANT DE CONTACT peut être perçu à des niveaux aussi faibles que quelques micro-ampères. À moins que le courant ne soit suffisamment élevé pour produire une réaction de tressaillement involontaire qui pourrait avoir pour résultat des effets nuisibles, ces faibles COURANTS DE CONTACT ne sont pas considérés comme dangereux et ne sont généralement pas mesurés par les méthodes mentionnées.

##### **D.2.5 Applications spéciales**

La méthode de mesure spécifiée dans la présente norme peut être utilisée, sauf spécification contraire dans la norme applicable au produit particulier.

La valeur efficace de 0,25 mA (moitié du seuil de réaction de tressaillement) est utilisée pour les MATERIELS de classe II dans les normes de produits telles que l'IEC 60065, l'IEC 60335-1, l'IEC 60950-1 et l'IEC 62368-1. Voir la Figure F.2 pour les effets de la fréquence.

Des limites inférieures à 0,25 mA en valeur efficace sont spécifiées pour certaines applications médicales. Pour de telles applications, la méthode de mesure de la présente norme peut ne pas procurer un modèle d'impédance du corps humain approprié (voir l'Article E.1).

### D.3 Choix des limites

Il convient de considérer s'il est nécessaire de spécifier des limites différentes pour (1) les conditions de fonctionnement normal et (2) les conditions de défaut.

Voir la série IEC TS 60479 pour les lignes directrices relatives aux effets du courant passant dans le corps humain.

Généralement, les limites sont exprimées en termes de valeurs maximales en courant continu et en courant alternatif à des fréquences allant jusqu'à 100 Hz. Les méthodes de mesure spécifiées dans la présente norme sont les mêmes pour le non-lâcher/l'immobilisation, la réaction de tressaillement et certaines applications spéciales. Les réseaux de mesure prennent en compte l'effet du courant à fréquence plus élevée sur le corps et simulent une diminution de l'impédance du corps lorsque la fréquence augmente. Le non-lâcher/l'immobilisation, la réaction de tressaillement et la perception sont déterminés par des valeurs de crête du courant, pondérées pour la fréquence. Pour la BRULURE ELECTRIQUE, les valeurs efficaces sont significatives. Dans le cadre du domaine d'application de la présente norme, les effets de la fréquence sur les BRULURES ELECTRIQUES sont négligeables puisque l'effet prédominant à basse fréquence est la réaction de tressaillement ou le non-lâcher/l'immobilisation.

Des limites basées sur la fibrillation ventriculaire (voir D.2.1) ne sont pas nécessaires pour la plupart des MATERIELS puisque les limites plus basses du COURANT DE CONTACT pour la réaction de tressaillement ou le non-lâcher/l'immobilisation empêchent presque toujours la fibrillation ventriculaire. Une exception (développée dans l'IEC TS 60479-1) concerne le cas où une impulsion de courant de courte durée peut traverser le corps (impulsion trop courte pour provoquer l'incapacité de lâcher), et où la réaction de tressaillement à cette impulsion de courant n'est pas considérée comme dangereuse.

Le non-lâcher s'est traditionnellement centré sur les PARTIES PREHENSIBLES mais il doit désormais être considéré comme un point de vue simpliste. Dans ces conditions, la valeur limite la plus élevée pour le courant permanent est la même que pour le non-lâcher/l'immobilisation (voir D.2.2), excepté pour ce qui concerne les BRULURES ELECTRIQUES. Toutefois, les BRULURES ELECTRIQUES deviennent le facteur prédominant uniquement aux hautes fréquences. Dans la plage des limites pour la réaction de tressaillement et le non-lâcher/l'immobilisation, il peut y avoir des dangers secondaires dus à la surprise ou à une réaction musculaire involontaire, mais pas de blessures directes provoquées par le passage du courant à travers le corps. Un tel courant peut être considéré comme acceptable dans les conditions de premier défaut. Si tel est le cas, il convient que les comités de produits fournissent une exemption spécifique.

Pour les courants de courte durée, une valeur limite supérieure à celle du non-lâcher/de l'immobilisation est parfois utilisée, à condition qu'elle soit suffisamment au-dessous du seuil de fibrillation ventriculaire et de BRULURE ELECTRIQUE. Les comités de produits peuvent spécifier le réseau de la Figure F.3 pour de tels mesurages en courant alternatif lorsqu'une petite surface de contact est prévue.

Il convient d'utiliser le réseau de réaction de tressaillement de la Figure 4 pour les mesurages où la réaction de tressaillement limite est utilisée pour une petite surface de contact.

Il est entendu que les valeurs limites pour le COURANT DE CONTACT en basse fréquence dans d'autres publications de l'IEC sont basées sur les considérations suivantes.

- Limites pour la réaction de tressaillement et limites inférieures:
  - besoin d'éviter une réaction de tressaillement involontaire, si des conséquences sérieuses peuvent en résulter (par exemple, chute d'une échelle ou lâcher d'un MATERIEL);
  - la limite pour la réaction de tressaillement est généralement de 0,5 mA en valeur efficace ou 0,7 mA en valeur de crête pour un courant sinusoïdal;
  - une limite inférieure à 0,25 mA en valeur efficace (0,35 mA en valeur de crête) est indiquée si l'utilisateur est particulièrement sensible ou s'il y a un risque dû à des raisons d'environnement ou des raisons biologiques.
- Non-lâcher/immobilisation:
  - le tressaillement et une certaine réaction sont acceptables comme indication d'un premier défaut, lorsque la limite du non-lâcher/de l'immobilisation est appliquée;
  - les seuils de non-lâcher/d'immobilisation moyens pour les hommes et les femmes peuvent être estimés, en valeur efficace, à 16 mA et 10,5 mA respectivement;
  - certaines personnes ont un seuil inférieur, par exemple il a été démontré que le 99,5<sup>ème</sup> percentile d'hommes et de femmes est de 9 mA et 6 mA respectivement en valeur efficace, et des seuils inférieurs sont prévisibles pour les enfants;
  - certaines conditions de premier défaut peuvent justifier des limites de non-lâcher/d'immobilisation, les limites de réaction de tressaillement s'appliquant en conditions normales (sans défaut).

Certains types de MATERIELS peuvent avoir un COURANT DE CONTACT initial élevé lorsqu'ils sont mis sous tension la première fois, courant qui diminue rapidement lorsque le MATERIEL est en fonctionnement. Ceci est généralement ignoré lors du réglage des limites du MATERIEL lorsque cela est spécifié par le comité de produits.

#### **D.4 Effets de brûlure électrique du courant de contact**

Il n'y a pas d'accord général sur la valeur limite du COURANT DE CONTACT qui, dans tous les cas, empêche les BRULURES ELECTRIQUES. D'autres paramètres, tels que la surface de contact avec le corps humain et la durée du contact, sont connus comme étant importants. Le rapport entre ces paramètres nécessite des études complémentaires. Lorsque des limites de sécurité sont établies, elles peuvent l'être en fonction de deux ou plus de ces paramètres.

La méthode de mesure du COURANT DE CONTACT en ce qui concerne les effets de BRULURE ELECTRIQUE est spécifiée dans la présente norme (voir 7.2).

La limite suivante a été utilisée dans une norme IEC:

- IEC 61010-1: 500 mA en valeur efficace (dans des conditions de défaut).

Il a été noté que la brûlure de la peau commence à se produire pour des densités de courant d'environ 300 mA/cm<sup>2</sup> à 400 mA/cm<sup>2</sup> en valeur efficace (Becker, Malhotra et Hedley-Whyte).

Une analyse des conditions conduisant à une BRULURE ELECTRIQUE a démontré la présence d'une fréquence de transfert lorsque la BRULURE ELECTRIQUE dépasse le non-lâcher/l'immobilisation et il convient que des exigences relatives au produit reflètent le besoin

d'effectuer les mesurages corrects pour assurer une protection appropriée. L'IEC 62368-1 reflète une approche quant à la définition d'une telle exigence.

## **Annexe E** (informative)

### **Réseaux à utiliser pour le mesurage du courant de contact**

#### **E.1 Généralités**

Les valeurs de courant données dans la présente annexe ne sont que des exemples.

Les réseaux de la Figure 3 de la Figure 4 et de la Figure 5 sont destinés aux mesurages du COURANT DE CONTACT utilisant les limites généralement appliquées par les comités de produits: par exemple, de 100  $\mu$ A en valeur efficace/140  $\mu$ A en valeur de crête jusqu'à approximativement 10 mA en valeur efficace/14 mA en valeur de crête, pour les courants alternatifs et continus, et couvrant une plage de fréquences jusqu'à 1 MHz pour les formes d'onde sinusoïdales, à fréquences mixtes et non sinusoïdales.

#### **E.2 Réseau d'impédance du corps – Figure 3**

Le but du réseau de la Figure 3 est

- de simuler l'impédance du corps humain,
- de fournir un mesurage indiquant le niveau du courant qui peut traverser le corps humain, si celui-ci entre en contact avec le MATERIEL de manière analogue.

$R_B$  modélise l'impédance interne du corps humain.

$R_S$  et  $C_S$  modélisent l'impédance totale de la peau entre deux points de contact. La valeur de  $C_S$  est déterminée à partir de la surface de contact de la peau. Pour des surfaces de contact plus grandes, une valeur supérieure (par exemple 0,33  $\mu$ F) peut être utilisée.

NOTE Le modèle de corps humain de la Figure 3 utilisé dans la présente norme avec les valeurs de  $R$  et de  $C$  a traditionnellement été utilisé dans des normes de sécurité de produit pendant 50 ans ou plus; il a une longue expérience d'adéquation avec ce mesurage.

Le COURANT DE CONTACT, en ce qui concerne les BRULURES ELECTRIQUES, est égal à  $U_1$ , en valeur efficace, divisé par 500  $\Omega$ .

#### **E.3 Réseau de réaction de tressaillement (et impédance du corps) – Figure 4**

La réaction de tressaillement du corps humain résulte du courant qui peut traverser les parties internes du corps.

La prise en compte et la compensation de la variation de la fréquence pour la réaction de tressaillement sont exigées pour l'exactitude de mesure de ces effets. Le réseau de la Figure 4 simule l'impédance du corps et fournit la pondération pour suivre la courbe de réponse en fréquence du corps, pour des courants créant une réaction de tressaillement involontaire. Il a été pris pour hypothèse que la forme de la courbe de réponse en fréquence est la même pour la réaction et le tressaillement, et les données pour l'établissement de cette courbe sont des données effectivement obtenues par des essais sur le seuil de tressaillement.

Le réseau de mesure est utilisable pour des limites de courant jusqu'à une valeur équivalente pondérée d'environ 2 mA en valeur efficace à 50 Hz et 60 Hz. L'utilisation de ce réseau pour mesurer des limites de niveaux plus élevées est limitée par la prise en compte du non-lâcher/de l'immobilisation et le besoin d'une pondération en fréquence différente si

l'incapacité de lâcher est à prendre en considération au-delà de ces niveaux (voir Article E.4).

Le COURANT DE CONTACT pour la réaction de tressaillement est égal, en courant alternatif ou continu, à la tension de crête  $U_2$  divisée par 500  $\Omega$ .

#### **E.4 Réseau de non-lâcher/d'immobilisation (et impédance du corps) – Figure 5**

L'immobilisation ou l'incapacité de lâcher d'un objet est provoquée par le passage du courant à l'intérieur du corps (par exemple à travers les muscles). Le réseau de mesure est adapté aux limites de courant dépassant une valeur équivalente pondérée d'environ 2 mA en valeur efficace à 50 Hz et 60 Hz.

L'effet de la fréquence sur les limites du non-lâcher/de l'immobilisation est différent des effets de la fréquence sur la réaction de tressaillement, ou sur les BRULURES ELECTRIQUES. Cela est particulièrement vrai pour les fréquences supérieures à 1 kHz où ceci est pris en compte dans la conception du filtre.

Le réseau de la Figure 5 simule l'impédance du corps et est pondéré pour suivre la réponse en fréquence du corps aux courants qui peuvent provoquer la téτανisation des muscles (contraction musculaire involontaire) et, de ce fait, une incapacité de lâcher. Le COURANT DE CONTACT concernant le non-lâcher/l'immobilisation est égal à la tension de crête  $U_3$  divisée par 500  $\Omega$ .

## Annexe F (informative)

### Limitations et construction du réseau de mesure

Les réseaux de la Figure 3, de la Figure 4 et de la Figure 5 sont destinés à fournir une réponse de tension mesurable qui reproduit approximativement les courbes données à la Figure F.1, à la Figure F.2 et à la Figure F.3. Les réseaux et les courbes de référence fournis sont généralement conformes à ceux de l'IEC TS 60479-1 et de l'IEC TS 60479-2, avec l'exception que, pour simplifier les circuits de mesure, de légères différences ont été admises aux points d'inflexion de la courbe entre 300 Hz et 10 kHz.

Lorsque des limites pour les BRULURES ELECTRIQUES sont spécifiées, le COURANT DE CONTACT est aussi mesuré sans pondération en fréquence. Les critères établis pour les BRULURES ELECTRIQUES prévalent sur les critères relatifs à la réaction de tressaillement et au non-lâcher/à l'immobilisation si la limite de courant en valeur efficace pour les BRULURES ELECTRIQUES est dépassée avant que ne soient atteintes les limites du courant de crête pondéré pour la réaction de tressaillement et le non-lâcher/l'immobilisation. Si c'est le cas, cela se produit, en général, dans la plage de 30 kHz à 500 kHz, selon la forme d'onde du courant et les valeurs limites utilisées. À moins que de telles fréquences ne soient prédominantes, le mesurage de la limite de BRULURE ELECTRIQUE n'est pas nécessaire.

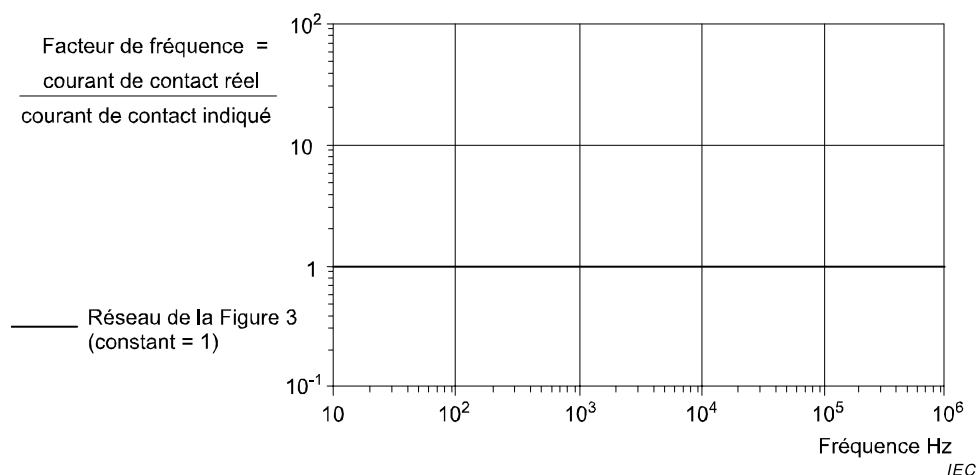


Figure F.1 – Facteur de fréquence pour les brûlures électriques

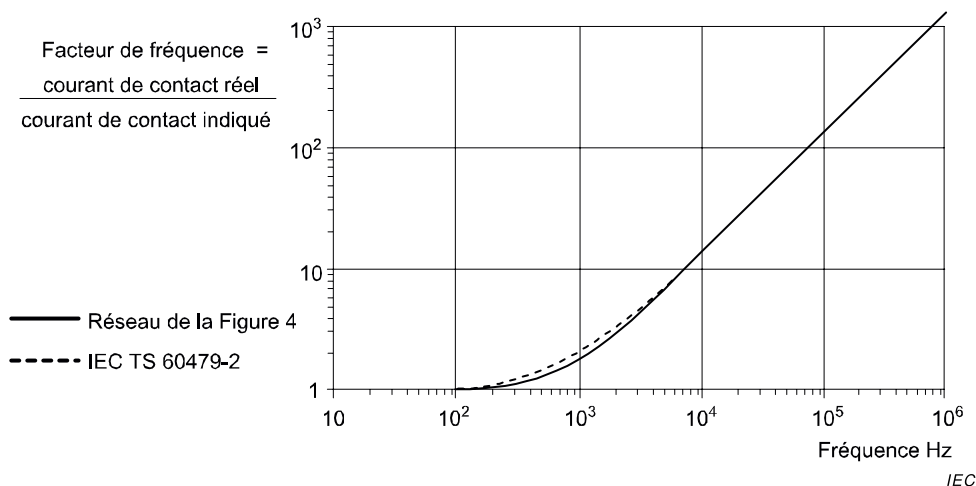
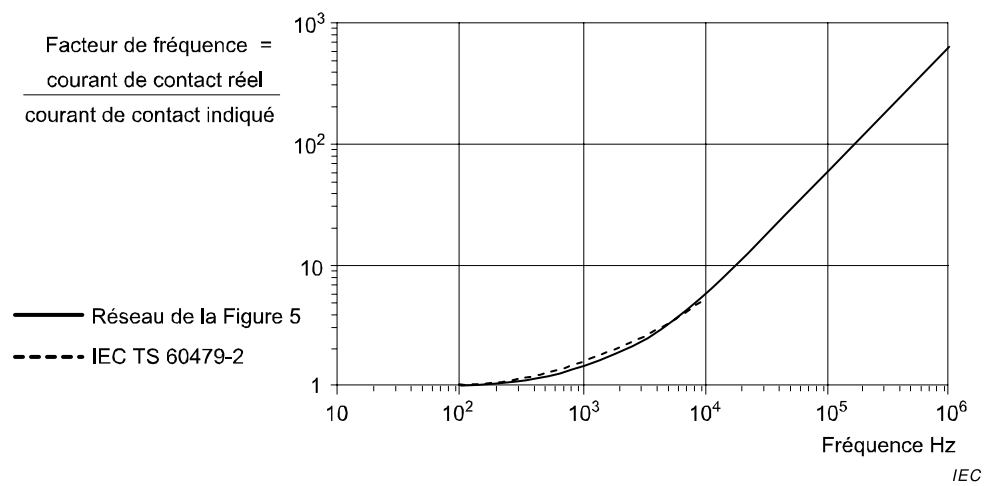


Figure F.2 – Facteur de fréquence pour la perception ou la réaction de tressaillement



**Figure F.3 – Facteur de fréquence pour le non-lâcher/l'immobilisation**

## **Annexe G** (informative)

### **Construction et application des appareils de mesure du courant de contact**

#### **G.1 Considérations pour le choix des composants**

##### **G.1.1 Généralités**

Le choix des composants pour les réseaux de mesure du COURANT DE CONTACT de la Figure F.3, de la Figure 4 et de la Figure 5 peut être largement influencé par l'application, par exemple par les niveaux de courant et les fréquences qui doivent être mesurés, ainsi que par les tolérances et les capacités à supporter les puissances à prendre en considération.

Les réseaux et les appareils de mesure, ainsi que les spécifications des qualités de fonctionnement exposés dans la présente norme sont adaptés à la fois pour les formes d'onde sinusoïdales du COURANT DE CONTACT provenant d'un MATERIEL simple et pour les formes d'onde non sinusoïdales provenant de produits complexes qui peuvent produire des fréquences élevées. Toutefois, pour une application limitée, il peut ne pas être nécessaire pour un réseau de couvrir la plage entière de courant continu jusqu'à 1 MHz, ni de supporter des niveaux de puissance d'entrée qui sont peu probables dans cette application particulière. Des réseaux et appareils de mesure de courant plus simples peuvent être utilisés à la place de ceux spécifiés, à condition que les conditions du circuit soient telles que les valeurs obtenues soient identiques.

Les informations données ici sont destinées à mettre en évidence les facteurs à considérer pour chaque composant, de façon que des décisions appropriées puissent être prises pour des applications particulières.

##### **G.1.2 Puissance assignée et inductance pour $R_S$ et $R_B$**

La puissance dans  $R_S$  et  $R_B$  est déterminée par deux facteurs. L'un des facteurs est la possibilité de surcharge en courant continu ou à basse fréquence. Si, par exemple, une capacité de surcharge de 240 V à 50 Hz/60 Hz est souhaitée,  $R_S$  doit tolérer 21,6 W et  $R_B$  7,2 W au moins pendant un temps court, sans dérive de la valeur. Toutefois, si les surcharges ne sont pas à prendre en considération, alors une résistance à film métallique de ½ W ou 1 W peut fournir l'exactitude nécessaire, avec un faible coefficient de température et une stabilité à long terme.

Sur la base de ces choix, il convient que le réseau de mesure soit marqué de façon appropriée, sauf s'il est capable de supporter des surcharges permanentes.

$R_B$  peut aussi dissiper de la puissance provenant de courants à haute fréquence dans certaines applications. Par exemple, si un courant pour un danger de brûlure de 500 mA doit être mesuré, une puissance de 125 W sera dissipée dans  $R_B$ . Bien que ce soit improbable, une résistance avec cette possibilité peut être choisie.

Les résistances de puissance à fil bobiné peuvent supporter la puissance si d'autres facteurs tels que l'exactitude et les erreurs inductives sont maîtrisés à des niveaux acceptables pour l'application. Les résistances de puissance avec une exactitude de  $\pm 1\%$  et  $\pm 5\%$  sont disponibles facilement. L'inductance mesurée sur des résistances de puissance à fil bobiné typiques de 12 W et 20 W est d'environ 30  $\mu\text{H}$  pour une valeur de 1 000  $\Omega$ . Deux résistances de ce type en parallèle donnent 500  $\Omega$  et l'inductance provoquerait une augmentation de 2 % de l'impédance jusqu'à 510  $\Omega$  à 1 MHz. Les valeurs de la résistance  $R_S$  et du condensateur  $C_S$  conditionnent les qualités de fonctionnement aux hautes fréquences du réseau  $R_S/R_B$ .

Une inductance de 1 mH, ce qui est beaucoup plus élevé que ce qui pourrait être prévu, en série avec  $R_S$  (1 500  $\Omega$ ), provoque une erreur inférieure à 0,2 % à 1 MHz.

### G.1.3 Condensateur $C_S$

Des condensateurs à film à armature métallique sont recommandés. Le condensateur  $C_S$  peut nécessiter une tension assignée lui permettant de supporter une surcharge de courte durée, par exemple 250 V en courant alternatif, ou peut-être 400 V ou 600 V en courant continu. Les condensateurs à film pour courant continu supportent généralement sans défaillance une tension de crête en courant alternatif égale aux caractéristiques assignées en courant continu, pendant de courtes périodes. Si l'inductance de  $C_S$  et de son câblage doit être contrôlée pour les qualités de fonctionnement à 1 MHz, deux ou trois condensateurs en parallèle peuvent être nécessaires pour assurer l'exactitude et la réponse en fréquence.

Les condensateurs à film de 0,1  $\mu\text{F}/250$  V en courant alternatif ont été mesurés en résonance à environ 3 MHz. Des erreurs d'environ 3 % à 1 MHz, dues à l'inductance, peuvent être prévues sur ces composants. Des condensateurs de valeur inférieure à 0,1  $\mu\text{F}$  peuvent être mis en parallèle pour réduire l'erreur inductive.

### G.1.4 Résistances $R_1$ , $R_2$ et $R_3$

Des résistances à film métallique donnent des qualités de fonctionnement appropriées en surcharge et à des fréquences jusqu'à 1 MHz. Si des capacités de surcharge sont souhaitées (voir G.1.2), il convient que  $R_1$  et  $R_2$  soient de type 1 W.

### G.1.5 Condensateurs $C_1$ , $C_2$ et $C_3$

Des condensateurs à film à armature métallique sont recommandés. L'inductance des condensateurs dans cette plage ne provoque généralement pas d'erreurs significatives jusqu'à 1 MHz. La tolérance des condensateurs peut être ajustée par mise en parallèle de deux ou plusieurs condensateurs de plus faible valeur.

## G.2 Voltmètre

Pour obtenir des qualités de fonctionnement satisfaisantes jusqu'à 1 MHz, il convient que l'appareil utilisé pour mesurer  $U_1$ ,  $U_2$  et  $U_3$  soit un appareil de mesure de tension qui

- a une réponse
  - en courant continu pour les mesurages en courant continu,
  - en valeur efficace vraie pour les mesurages en valeur efficace, et
  - en valeur de crête pour les mesurages de valeurs de crête;
- a une résistance d'entrée supérieure ou égale à 1 M $\Omega$ ;
- a une capacité d'entrée inférieure ou égale à 200 pF pour les mesurages en courant alternatif;
- a une plage de fréquences pour les mesurages en courant alternatif de 15 Hz à 1 MHz, ou plus en présence de fréquences plus élevées;
- a une entrée flottante ou différentielle avec une réjection de mode commun d'au moins 40 dB jusqu'à 1 MHz.

Voir l'Article G.1 pour l'utilisation d'appareils plus simples pour des applications particulières.

## G.3 Exactitude

L'exactitude totale du réseau de mesure pour le COURANT DE CONTACT et de son voltmètre dépend de l'exactitude des résistances et des condensateurs, ainsi que de la réponse en

fréquence, de l'impédance et de l'exactitude du voltmètre. La capacité entre les composants et l'inductance des fils affectent également l'exactitude de mesure.

NOTE L'analyse des effets des tolérances sur le COURANT DE CONTACT mesuré pour les composants R et C dans les circuits de mesure du COURANT DE CONTACT spécifiés montre que la tolérance des résistances  $R_S$  et  $R_B$  affecte principalement les résultats de mesure. Les effets des tolérances d'autres composants relèvent d'un ordre de grandeur inférieur.

Un voltmètre a une résistance d'entrée et une capacité d'entrée. En courant continu ou à basse fréquence, un voltmètre avec une résistance d'entrée de  $1\text{ M}\Omega$ , utilisé avec le réseau de mesure de la Figure 4 ou de la Figure 5, indique une valeur inférieure de 1 % par suite de la division avec la résistance de  $10\,000\ \Omega$  du réseau de mesure. À haute fréquence, la capacité d'entrée du voltmètre, de valeur typique de  $30\text{ pF}$ , étant directement en parallèle avec la capacité de sortie du réseau de mesure, peut entraîner une indication inférieure de 0,15 % pour le réseau de la Figure 4 et de 0,33 % pour le réseau de la Figure 5.

#### G.4 Étalonnage et application des appareils de mesure

NOTE L'étalonnage consiste à mettre en corrélation les résultats d'un appareil avec ceux d'un étalon afin de vérifier l'appareil.

Les qualités de fonctionnement d'un réseau de mesure complet du COURANT DE CONTACT ou d'un appareil de mesure du COURANT DE CONTACT peuvent être déterminées en comparant les résultats obtenus avec les valeurs idéales calculées dans toute la plage de fréquences concernée (voir l'Article K.1). Il convient de noter l'erreur, à chaque fréquence de mesure, pour un grand nombre d'éprouvettes de chaque appareil. Il convient d'utiliser une compilation des données d'erreurs pour établir des bandes de garde à l'intérieur desquelles il est probable que les mesurages futurs se situeront. Le degré de confiance statistique avec l'indication de la largeur des bandes de garde peut être spécifié. Si un appareil de conception particulière est fabriqué en un seul exemplaire, la bande de garde peut être composée des données d'erreurs réelles.

L'établissement de bandes de garde assure que les mesurages peuvent indiquer de façon reproductible si le MATERIEL en essai respecte les limites de COURANT DE CONTACT, lorsqu'il est utilisé de la façon suivante.

Pour les fabricants de MATERIELS, il convient d'ajouter la bande de garde au résultat indiqué, et de comparer la somme à la limite. Cela assure que le MATERIEL indiqué comme satisfaisant à la limite du COURANT DE CONTACT ne sera pas rejeté par le laboratoire d'essai. Pour les laboratoires d'essai, il convient de soustraire algébriquement la bande de garde du résultat indiqué et de comparer la différence à la limite. Cela assure que le laboratoire d'essai ne rejettera pas un MATERIEL qui satisfait réellement à la limite. Il convient que les tolérances pour les appareils utilisés par un laboratoire d'essai soient suffisamment faibles pour être adaptées à la différence entre la valeur limite et le seuil de l'effet physiologique indésirable (voir IEC TS 60479-1).

Si nécessaire, la bande de garde du réseau de mesure peut être rétrécie, par exemple par

- le choix des composants,
- l'ajustement des valeurs par la connexion d'un ou plusieurs composants en parallèle,
- la réduction des fils de connexion et des pliages accentués des fils (pour réduire l'inductance),
- la réduction des zones où les parties sont proches (pour réduire les capacités entre composants).

Il est recommandé que les fabricants de MATERIELS réduisent le plus possible les niveaux de COURANT DE CONTACT. La conception d'un MATERIEL ayant des niveaux de courant proches de la limite du COURANT DE CONTACT n'est pas considérée comme une bonne pratique, à cause des effets sur le COURANT DE CONTACT de la tolérance sur les composants, du vieillissement,

de l'utilisation et de l'environnement. Lorsque le COURANT DE CONTACT d'un MATERIEL est proche de la limite, il convient de prendre des précautions particulières pour l'exactitude de mesure et l'étalonnage du MATERIEL d'essai. Si le COURANT DE CONTACT n'est pas proche de la limite, une bande de garde plus large est acceptable pour les appareils utilisés par le fabricant.

## **G.5 Enregistrements**

Pour chaque appareil de mesure, il convient d'établir un dossier d'enregistrement comportant les mesurages périodiques du système de mesure. Ces enregistrements fourniront des données pour les systèmes de confirmation ultérieurs (voir l'Article G.6) et pour toute limitation d'utilisation.

## **G.6 Systèmes de confirmation**

NOTE Une définition de la confirmation métrologique (en abrégé «confirmation» dans la présente norme) est donnée dans un grand nombre de normes de qualité.

Il convient que les appareils de mesure utilisés pour la certification des MATERIELS soient soumis à une confirmation périodique de leur exactitude (voir l'Article K.2).

## **Annexe H** (informative)

### **Analyse de mesurages de circuits de courant de contact avec filtre de fréquence**

L'Annexe H expose la méthode de mesure de formes d'onde complexes conformément à la série IEC TS 60479.

Les oscilloscopes modernes fournissent des valeurs numériques de mesure exactes concernant les formes d'onde au cours du mesurage. Les mesurages courants sont exprimés en valeur efficace, en valeur de crête et en valeur de crête à crête. La présente annexe présente comment utiliser ces données pour développer de manière appropriée la valeur obtenue nécessaire qui doit être comparée à la limite spécifiée dans la norme de produit.

L'IEC TS 60479-2, aspects particuliers, traite de la complexité des formes d'onde développées par des MATÉRIELS électroniques modernes qui commutent facilement des tensions importantes pour développer des tensions ou du courant qui soient adaptés à une utilisation particulière au sein du MATÉRIEL.

Extrait de l'IEC TS 60479-2:2007, 5.2: «La plupart des effets physiologiques sont liés au courant crête filtré (en amplitude et en temps) avec le filtre naturel du corps défini par le facteur de fréquence  $F$ . Il convient de toujours utiliser la valeur crête du courant sauf ... (pour) un courant sinusoïdal pur.»

Les filtres du facteur de fréquence développés pour l'IEC 60990 sont ajustés aux courbes du facteur de fréquence de l'IEC TS 60479-2 étendues jusqu'à 1 MHz, fréquence qui sépare la sécurité électrique et la CEM de longue date, tel qu'indiqué à l'Annexe F. Cette extension est basée sur une compréhension médicale générale de la conduction du courant dans le corps intégrant une augmentation permanente du courant admis jusqu'à la fréquence extrême comportant une réduction similaire des effets particulièrement mesurés. Ces filtres sont mis en œuvre en tant qu'inverses des courbes des facteurs de fréquence afin de simplifier les mesurages.

Pour mettre en œuvre le mesurage du COURANT DE CONTACT conformément à la série IEC TS 60479, y compris les dispositions concernant les facteurs de fréquence, l'IEC 60990 fournit deux circuits de mesure du COURANT DE CONTACT qui s'alignent sur les courbes des facteurs de fréquence de l'IEC TS 60479-2 dans les conditions suivantes:

- Un circuit pondéré pour la réaction de tressaillement (anciennement appelé perception-réaction) – Figure 4.
- Un circuit pondéré pour le non-lâcher/l'immobilisation (anciennement appelé non-lâcher) – Figure 5.

L'analyse SPICE a été effectuée sur les circuits avec filtre de fréquence de la Figure 4 et de la Figure 5 à l'aide de formes d'onde courantes simples à analyser et les résultats sont développés ci-dessous. Bien qu'un seul couple de cycles soit présenté, cette analyse s'applique aux formes d'onde continues de COURANT DE CONTACT. Le COURANT DE CONTACT est calculé dans l'analyse de la manière suivante:  $V(\text{sortie}) / 500 \Omega$ , tel qu'indiqué dans le diagramme. Le calcul donne des unités  $\text{mV}/\Omega$  (=mA) associées à l'axe Y / vertical / des ordonnées du COURANT DE CONTACT.

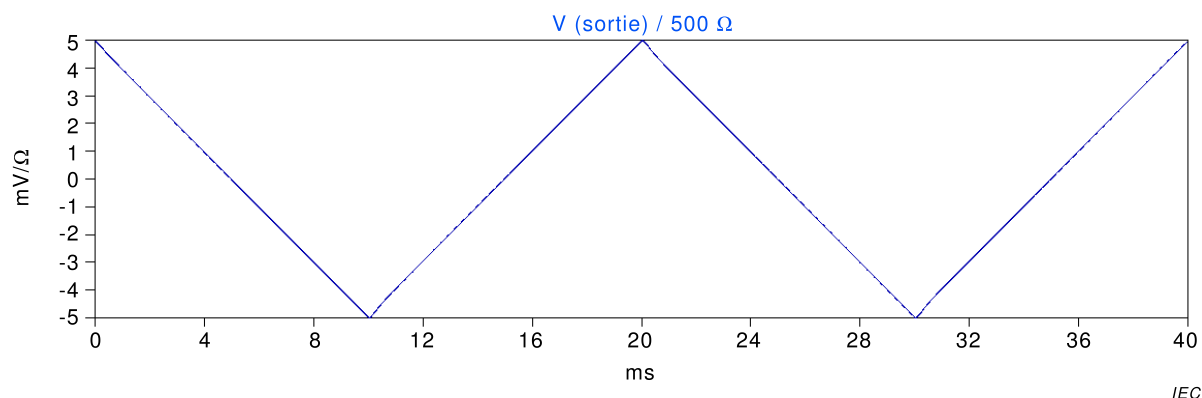
NOTE Explication de la dénomination de la forme d'onde de sortie SPICE:  $(V(\text{sortie}) / 500 \Omega) =$  courant de contact pondéré et  $\text{xmV} / \Omega =$  courant de contact xmA calculé à l'aide de la sortie de tension de la réaction de tressaillement de la Figure 4 ou du non-lâcher/de l'immobilisation du circuit avec filtres de la Figure 5.

#### **Exemples de formes d'onde bipolaires**

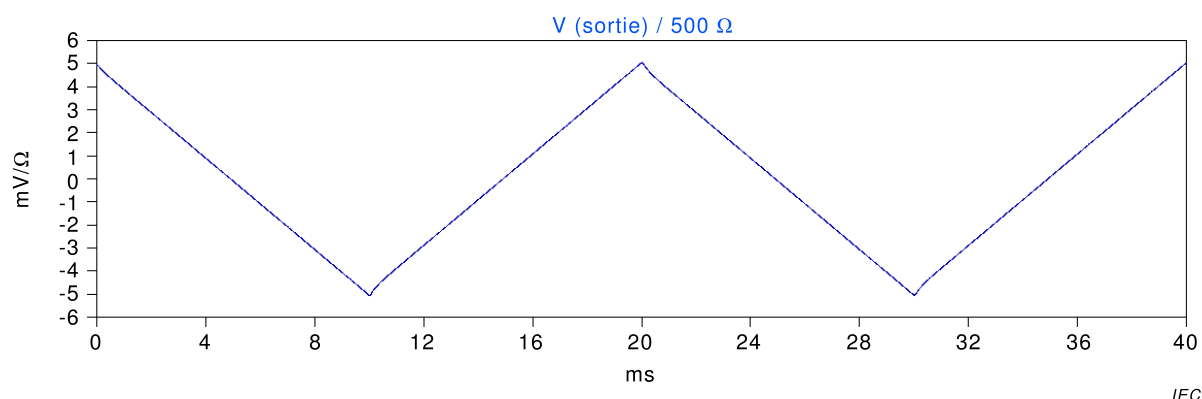
Les formes d'onde bipolaires de courant alternatif comprennent:

- des ondes sinusoïdales (exemple le plus courant); et
- des formes d'onde non sinusoïdales développées par commutation électronique au sein des produits pour la distribution et l'utilisation de la puissance.

Un exemple simple est celui d'une forme d'onde triangulaire de 50 Hz (20 ms) présentée à la Figure H.1 et à la Figure H.2.



**Figure H.1 – Forme d'onde triangulaire de courant de contact, réaction de tressaillement**



**Figure H.2 – Forme d'onde triangulaire de courant de contact, non-lâcher/immobilisation**

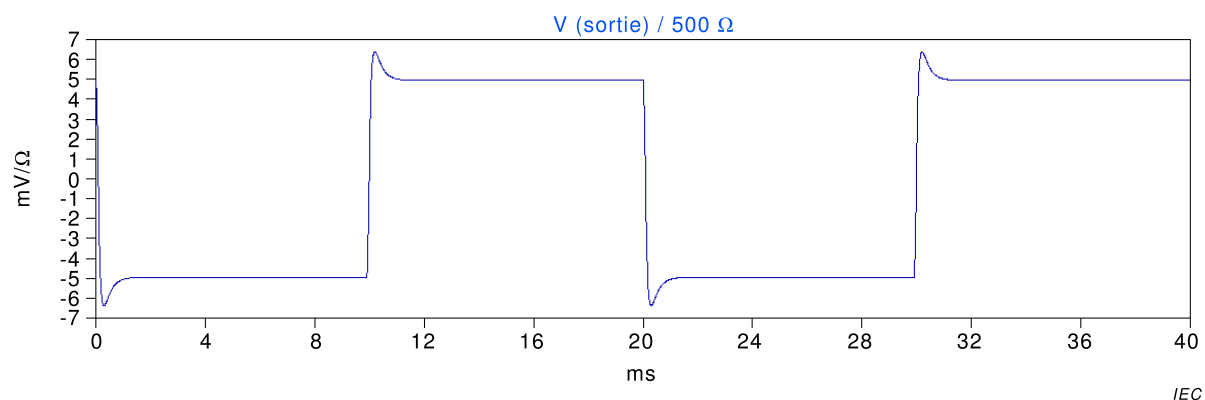
Les conditions d'entrée sont les mêmes que celles d'une forme d'onde sinusoïdale équivalente mais les résultats sont différents. La valeur de crête indiquée au Tableau H.1 est la valeur de crête à crête divisée par 2. Le courant de crête est à un niveau de crête de 5 mA mais la valeur efficace est en dessous du niveau de 3,5 mA de l'exemple ci-dessus. La valeur de crête du mesurage doit être utilisée pour comparer de manière adéquate le niveau de danger du COURANT DE CONTACT pour le corps. Dans ce cas, la valeur efficace, lorsqu'elle est utilisée comme mesure d'adéquation, indique une marge inférieure à celle d'une valeur limite sinusoïdale, qui constitue une impression non fondée de la protection disponible.

**Tableau H.1 – Comparaison des réponses de formes d'onde triangulaires**

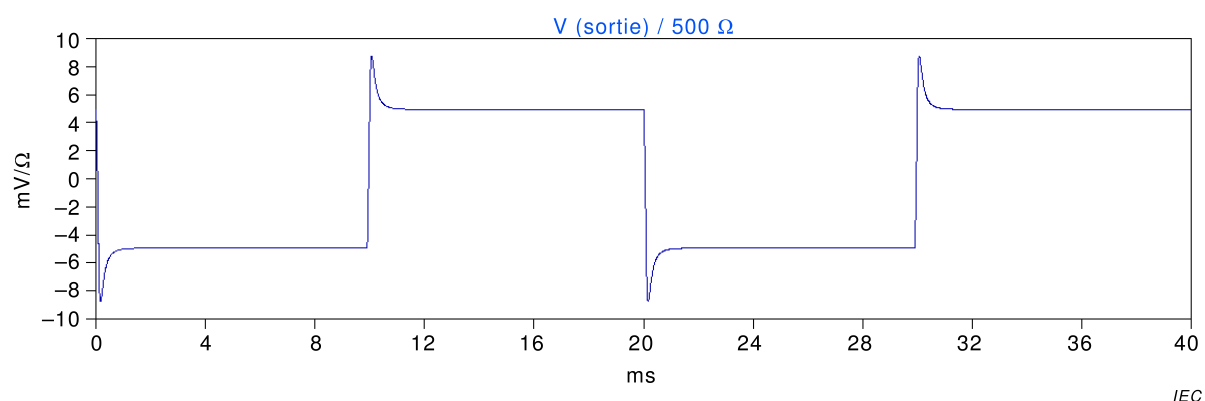
| Circuit / réponse du COURANT DE CONTACT                                                | Valeur de crête | Valeur efficace |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|
| COURANT DE CONTACT d'un circuit en réaction de tressaillement<br>I [V(sortie) / 500 Ω] | 4,98 mA         | 2,868 mA        |
| COURANT DE CONTACT d'un circuit en non-lâcher/immobilisation<br>I [V(sortie) / 500 Ω]  | 5,05 mA         | 2,869 mA        |

La composante du circuit de filtrage des circuits de courant de contact (TC) agit de manière adéquate sur les composantes à haute fréquence de chaque forme d'onde.

L'onde carrée 50 Hz représentée à la Figure H.3 et à Figure H.4 est un autre exemple de circuit simple à considérer.



**Figure H.3 – Réponse impulsionnelle avec temps de montée de 1 ms, réaction de tressaillement**



**Figure H.4 – Réponse impulsionnelle avec temps de montée de 1 ms, non-lâcher/immobilisation**

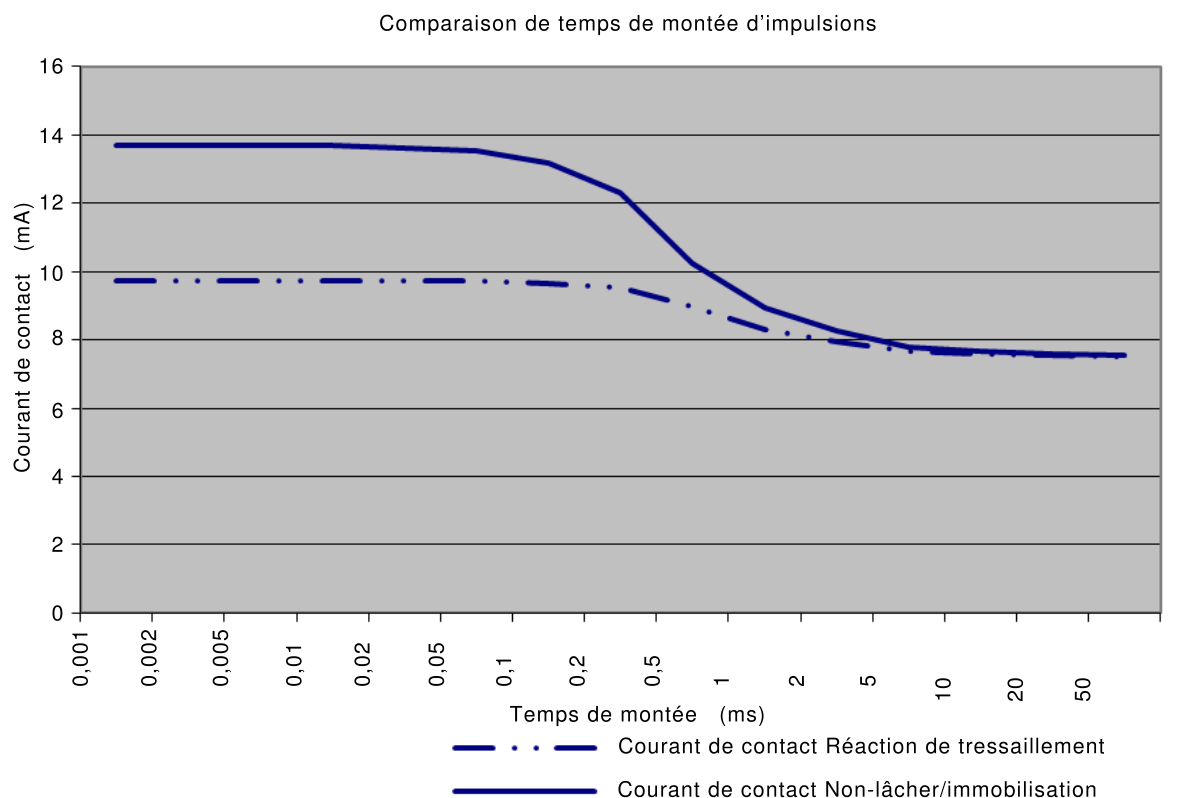
La valeur de courant constant est de 5 mA mais la valeur de crête (= crête à crête / 2) est plus élevée dans tous les cas, comme indiqué au Tableau H.2.

**Tableau H.2 – Réponse du courant de contact en onde carrée**

| Circuit / réponse du COURANT DE CONTACT                                                | Valeur de crête | Valeur efficace |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|
| COURANT DE CONTACT d'un circuit en réaction de tressaillement<br>I [V(sortie) / 500 Ω] | 6,39 mA         | 4,991 mA        |
| COURANT DE CONTACT d'un circuit en non-lâcher/immobilisation<br>I [V(sortie) / 500 Ω]  | 8,758 mA        | 5,054 mA        |

Le circuit en non-lâcher/immobilisation permet le passage de plus de courant à haute fréquence au travers du filtre; c'est pourquoi la valeur de crête est plus élevée.

Le temps de montée est un facteur clé de la valeur de crête du COURANT DE CONTACT pour une forme d'onde à montée rapide. Pour ce type de forme d'onde, le temps de montée affecte au moins le COURANT DE CONTACT d'un facteur de 2 tel qu'indiqué à la Figure H.5 (diagramme du COURANT DE CONTACT en fonction du temps de montée).

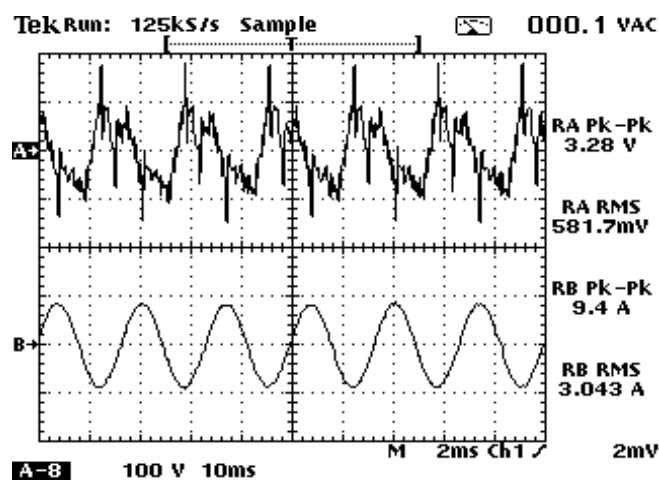


IEC

**Figure H.5 – Diagramme du courant de contact en fonction du temps de montée, onde carrée de 20 ms**

Les formes d'onde du COURANT DE CONTACT ont été publiées pour des douzaines de MATÉRIELS modernes<sup>1</sup>. L'utilisation d'interrupteurs d'alimentation, notamment pour rétablir le courant d'entrée sinusoïdal (amélioration du facteur de puissance = PFC – power factor correction) et, plus récemment, pour optimiser le rendement énergétique des alimentations à découpage (SMPS – switch mode power supplies) a engendré des formes d'onde de COURANT DE CONTACT plus complexes. L'une des formes d'onde les plus complexes considérées est représentée à la Figure H.6 (forme d'onde A).

<sup>1</sup> «Touch current comparison data»; Perkins, 2006. Collection de plus de deux douzaines de formes d'onde de courant de contact à partir de divers matériels; disponible sur [www.safetylink.com](http://www.safetylink.com), recherche sur perkins.



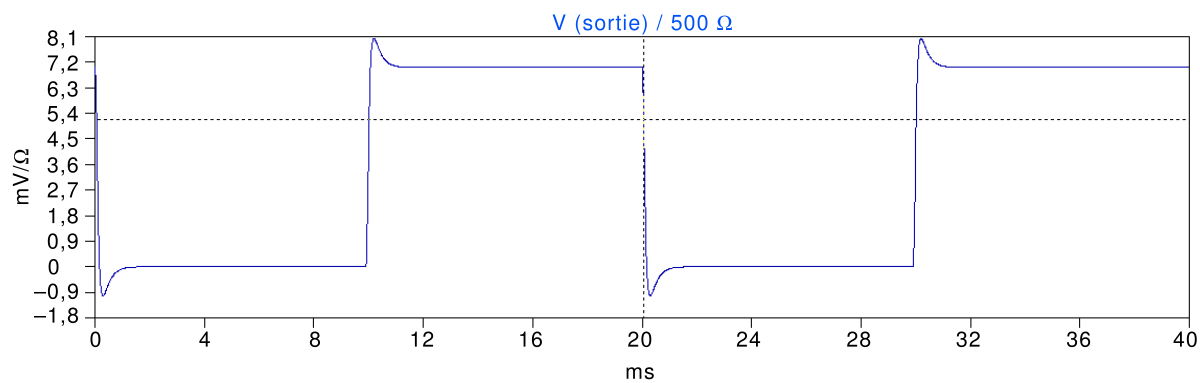
IEC

| Anglais | Français                      |
|---------|-------------------------------|
| Sample  | Échantillon                   |
| Pk-pk   | Valeur de crête à crête       |
| VAC     | Tension en courant alternatif |
| RMS     | Valeur efficace               |

Figure H.6 – Forme d'onde de courant de contact PFC SMPS

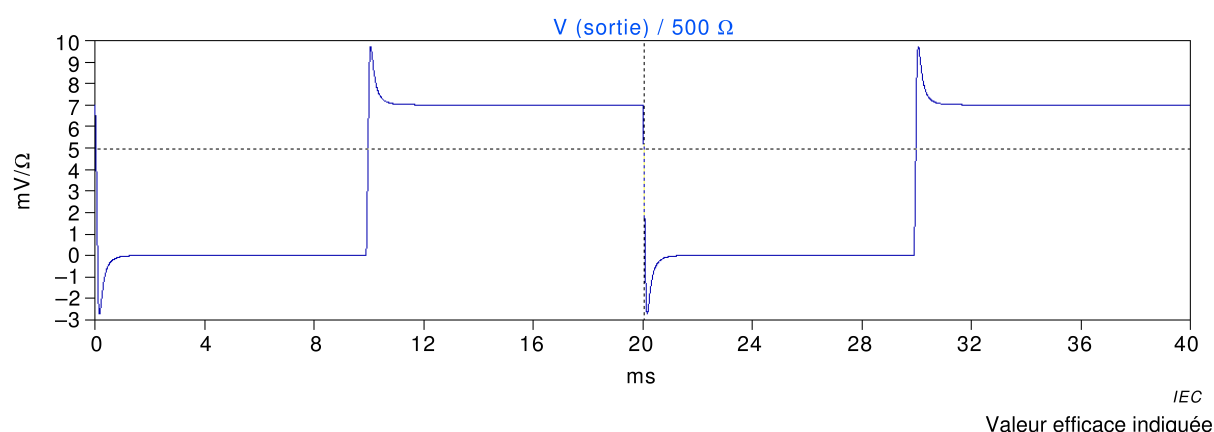
### Exemple de forme d'onde monopolaire

Les applications en courant continu sont les exemples les plus courants de formes d'onde monopolaires. Les applications en courant continu commuté étudiées dans cet exemple et représentées à la Figure H.7 et à la Figure H.8 présentent un intérêt particulier.



Valeur efficace indiquée

Figure H.7 – Onde carrée 50 Hz, temps de montée 0,1 ms, réaction de tressaillement



**Figure H.8 – Onde carrée 50 Hz, temps de montée 0,1 ms, non-lâcher/immobilisation**

La valeur de crête du COURANT DE CONTACT est utilisée pour les formes d'onde monopolaires. Le dépassement de l'impulsion en courant continu est compris dans le mesurage. Le dépassement négatif n'est pas compris.

**Tableau H.3 – Réponse du courant de contact monopolaire en onde carrée**

| Circuit / réponse du COURANT DE CONTACT                                                | Valeur de crête | Valeur efficace |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|
| COURANT DE CONTACT d'un circuit en réaction de tressaillement<br>I [V(sortie) / 500 Ω] | 8,031 mA        | 5,006 mA        |
| COURANT DE CONTACT d'un circuit en non-lâcher/immobilisation<br>I [V(sortie) / 500 Ω]  | 9,716 mA        | 5,037 mA        |

Comme précédemment, le temps de montée de la forme d'onde affecte le dépassement et la valeur de crête du COURANT DE CONTACT tel qu'il est indiqué au Tableau H.3

### Exemples courant alternatif/courant continu combinés

La Figure 7 de l'IEC TS 60479-2:2007 présente le seuil de non-lâcher exprimé en valeur de crête mA pour des combinaisons de courant alternatif et de courant continu sinusoïdaux 50 Hz/60 Hz. La valeur de crête de l'onde composée de courant alternatif et de courant continu exprimée en mA, pour le seuil de non-lâcher, et estimée pour la population entière des êtres humains, y compris les enfants, est présentée comme étant une fonction de la composante du courant continu en mA.

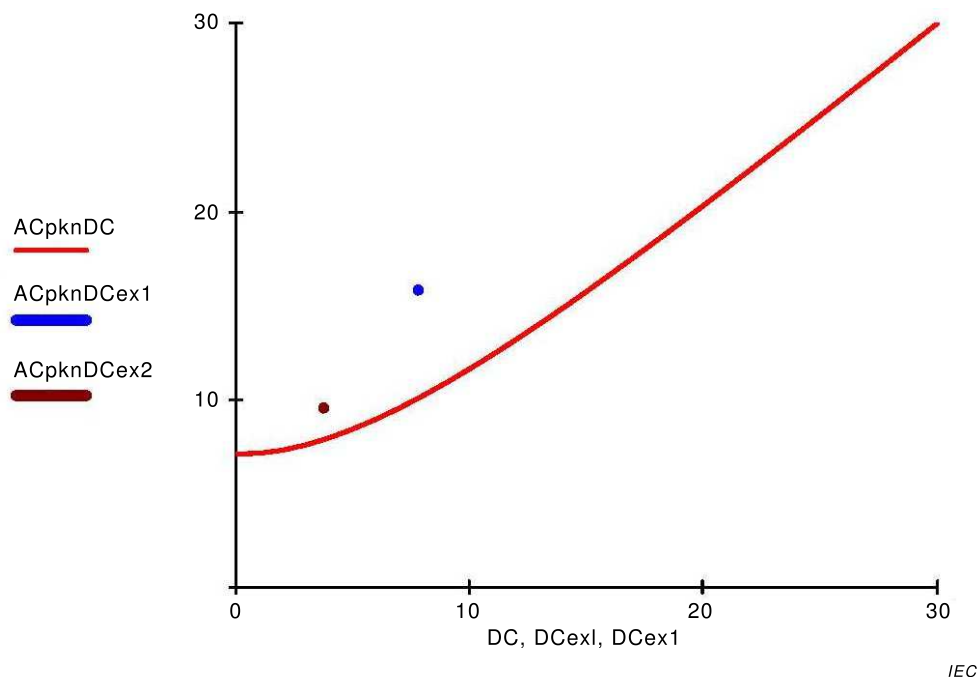
La Figure 7 de l'IEC TS 60479-2:2007 est représentée par l'équation pour le courant combiné:

$$AC_{pk} \text{ (valeur de crête du courant alternatif)} + DC \text{ (courant continu)} = 7,176^{(-0,143 \times DC)} - 0,106 + DC$$

Ces effets dépendent de la valeur de crête du courant et ils doivent être combinés pour chaque fréquence afin d'en estimer l'effet total. Un circuit de mesure est décrit dans la présente norme.

Dans le cadre de l'utilisation de l'IEC 60990, des circuits sont présentés ici pour effectuer des mesurages de COURANTS DE CONTACT alternatif/continu combinés et les évaluer de manière adéquate en fonction de l'équation ci-dessus. La Figure 7 de l'IEC TS 60479-2:2007 est reproduite à Figure H.9 avec des données supplémentaires issues des formes d'onde étudiées dans la présente annexe.

NOTE La forme d'onde composite représentée à la Figure 7 de l'IEC TS 60479-2:2007 est désignée ACpknDC dans le diagramme de la Figure 9 ci-dessous. ACpknDCex1 et ACpknDCex2 sont des exemples; les valeurs de DC sont désignées de la même manière, comme cela est expliqué dans le texte ci-dessous.

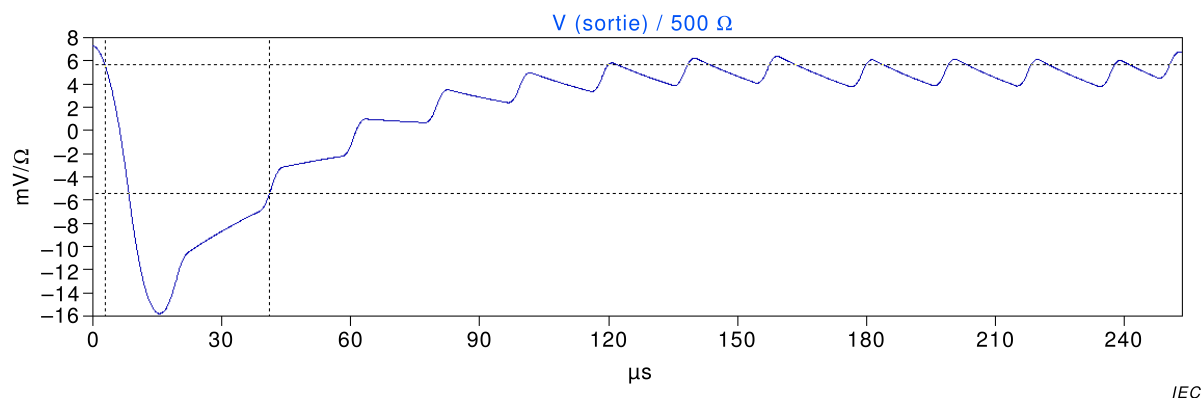


**Figure H.9 – Seuil de non-lâcher de l'IEC TS 60479-2 pour des combinaisons de courant alternatif et de courant continu augmenté de données supplémentaires, en mA pour chaque axe**

La procédure est la suivante. La valeur de crête absolue maximale de la forme d'onde composite est sélectionnée (valeurs du COURANT DE CONTACT **en gras** dans les tableaux) pour être représentée graphiquement par ACpknDC. La valeur de crête équivalente (pk-ev) est calculée à partir de la valeur efficace; elle est soustraite de la valeur de crête maximale pour obtenir la valeur en courant continu nécessaire à la représentation graphique. Les valeurs déduites des mesurages peuvent être tracées sur le même graphique que la courbe à comparer comme cela est réalisé dans le cas présent ou, en variante, la valeur en courant continu peut être saisie dans l'équation du courant composite pour calculer la valeur ACpk+DC et la comparer à la valeur déduite du mesurage, désignée ACpknDC.

#### Exemple 1 (ex1):

Le premier exemple (représenté à la Figure H.10) analyse le non-lâcher/l'immobilisation.



**Figure H.10 – Cas ex1: fenêtre de valeurs efficaces**

Pour le cas ex1 ci-dessus, voir le Tableau H.4.

**Tableau H.4 – Évaluation d'une forme d'onde ACnDC combinée, ex1**

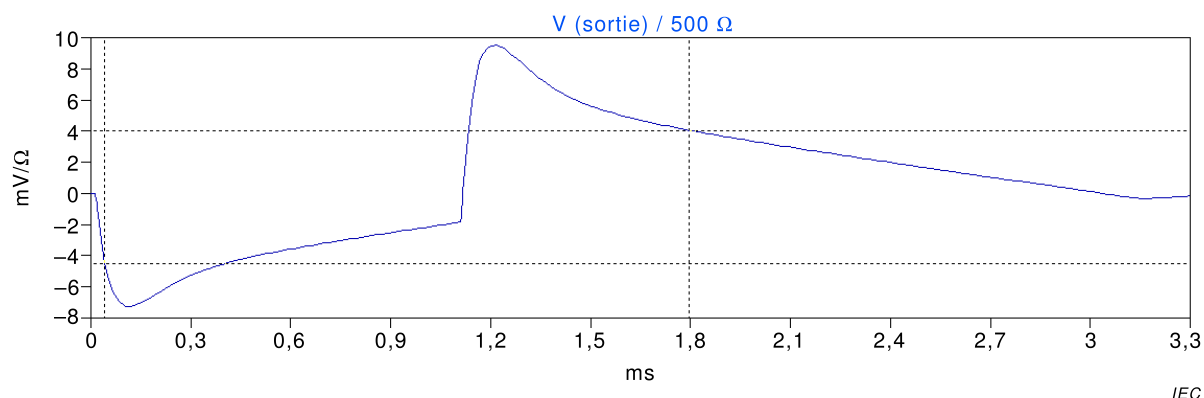
|                                                                                                                             | Valeur de crête du COURANT DE CONTACT    | Valeur efficace du COURANT DE CONTACT                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cas de non-lâcher/immobilisation                                                                                            | +7,281 96 / -15,788 2 mA valeur de crête | 5,644 6 mA valeur efficace<br>Pk-ev: $5,644\ 6 \times 1,414 = 8$ mA valeur de crête<br>$15,79 - 8 = 7,79$ mA en courant continu |
| Les valeurs en gras dans le tableau correspondent aux valeurs (arrondies) représentées dans le diagramme de la Figure H.10. |                                          |                                                                                                                                 |

Les valeurs à représenter pour évaluation graphique sont:

$$\text{ACpknDCex1} = 15,8, \quad \text{DCex1} = 7,79$$

Exemple 2 (ex2):

Un autre exemple combiné, ex2, est représenté à la Figure H.11 et au Tableau H.5.



**Figure H.11 – Cas ex2 de forme d'onde: fenêtre de valeurs efficaces**

**Tableau H.5 – Évaluation de forme d'onde ACnDC combinée, ex2**

|                                                                                                                             | Valeur de crête du COURANT DE CONTACT          | Valeur efficace du COURANT DE CONTACT                                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cas de non-lâcher/immobilisation                                                                                            | <b>9,524 69</b> / -7,247 19 mA valeur de crête | 4,085 4 mA valeur efficace<br>Pk-ev: $4,085\ 4 \times 1,414 = 5,777\ 6$ mA valeur de crête<br>$9,524\ 7 - 5,777\ 6 = 3,747\ 1$ mA en courant continu |
| Les valeurs en gras dans le tableau correspondent aux valeurs (arrondies) représentées dans le diagramme de la Figure H.11. |                                                |                                                                                                                                                      |

Les valeurs à représenter pour évaluation graphique sont:

$$\text{ACpknDCex2} = 9,52, \quad \text{DCex2} = 3,75$$

Chaque exemple s'inscrit au-dessus de la courbe de non-lâcher/d'immobilisation et ne parvient pas à correspondre à la limite de COURANT DE CONTACT de non-lâcher/d'immobilisation de 5 mA en valeur efficace / 7 mA en valeur de crête comme cela est décrit dans l'IEC TS 60479-2.

## **Annexe I** (informative)

### **Schémas de distribution d'énergie en courant alternatif (voir 5.4)**

#### **I.1 Généralités**

Dans l'IEC 60364-1, les schémas de distribution d'énergie en courant alternatif sont classés TN, TT et IT, en fonction de la disposition des conducteurs actifs et de la méthode de mise à la terre. La classification et les symboles sont expliqués dans la présente annexe. Quelques exemples pour chaque type de schémas sont donnés de la Figure I.1 à la Figure I.8; d'autres configurations existent également.

Dans les figures:

- dans la plupart des cas, les schémas s'appliquent aux MATERIELS monophasés et aux MATERIELS triphasés mais, pour des raisons de simplicité, seuls les MATERIELS monophasés sont représentés;
- les sources d'énergie peuvent être des secondaires de transformateur, des générateurs entraînés par un moteur ou des alimentations sans interruption;
- pour les transformateurs situés à l'intérieur du bâtiment de l'utilisateur, certaines figures s'appliquent, et la limite du bâtiment représente un étage du bâtiment;
- certains systèmes d'alimentation sont mis à la terre à des points supplémentaires, par exemple aux points d'entrée de l'alimentation dans les bâtiments des usagers (voir IEC 60364-4-41:2005).

Les types suivants de connexion des MATERIELS sont pris en compte; le nombre de conducteurs mentionné ne comprend pas les conducteurs utilisés exclusivement pour la mise à la terre:

- monophasé, 2 conducteurs;
- monophasé, 3 conducteurs;
- biphasé, 3 conducteurs;
- triphasé, 3 conducteurs;
- triphasé, 4 conducteurs.

Les symboles utilisés ont la signification suivante.

- Première lettre: rapport entre l'alimentation et la terre
  - T signifie une connexion directe d'un point avec la terre;
  - I signifie soit une isolation du système par rapport à la terre, soit une connexion d'un point avec la terre à travers une impédance.
- Deuxième lettre: mise à la terre du matériel
  - T signifie une connexion électrique directe du MATERIEL à la terre, indépendamment de la mise à la terre éventuelle d'un point de l'alimentation;
  - N signifie une connexion électrique directe du MATERIEL au point de l'alimentation mis à la terre (en courant alternatif, le point de mise à la terre est généralement le point neutre ou, si un point neutre n'est pas disponible, un conducteur de phase).
- Autres lettres (éventuelles): disposition du conducteur neutre et du conducteur de protection

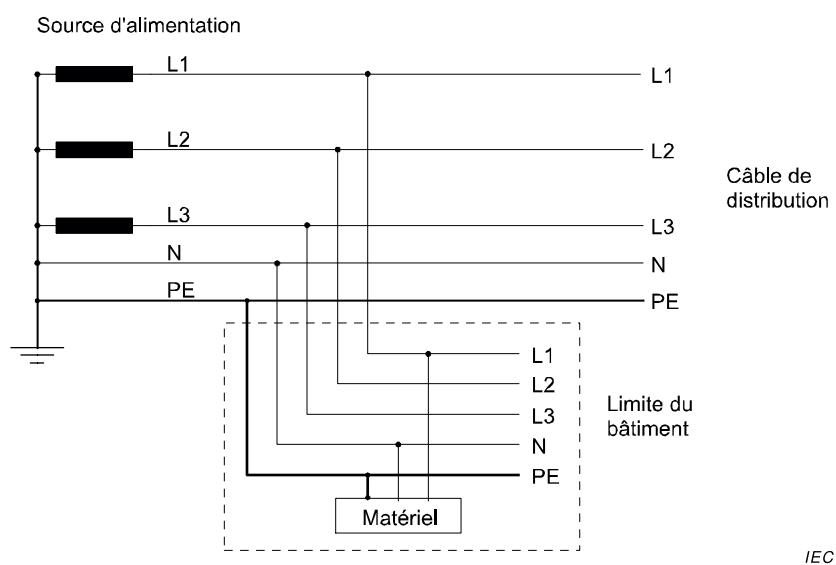
- S signifie que la fonction de protection est assurée par un conducteur distinct du neutre ou du conducteur actif mis à la terre (ou, en courant alternatif, un conducteur de phase mis à la terre);
- C signifie que les fonctions de neutre et de protection sont combinées en un seul conducteur (conducteur PEN).

## **I.2 Schémas d'alimentation TN**

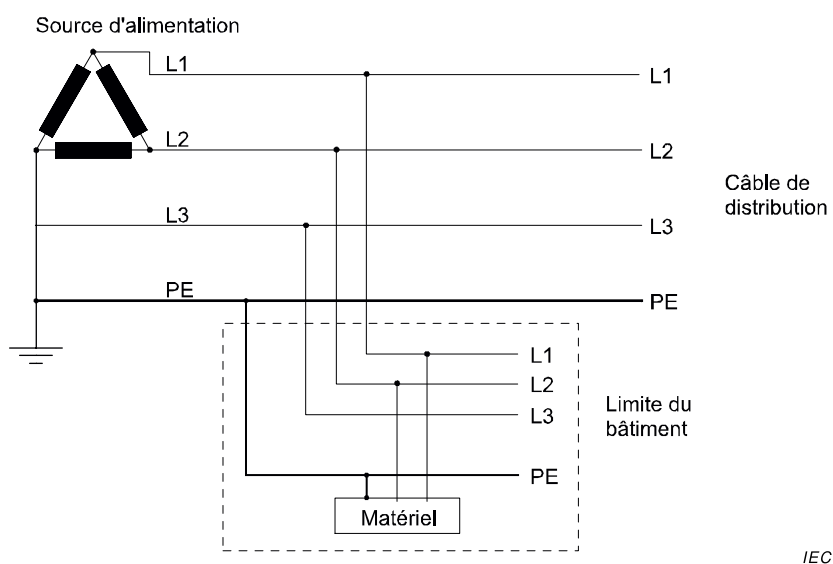
Les schémas d'alimentation TN ont un point relié directement à la terre, les parties du MATERIEL devant être mises à la terre étant reliées aux conducteurs de mise à la terre de protection. Trois types de schémas d'alimentation TN sont pris en considération:

- schéma d'alimentation TN-S: dans lequel un conducteur de protection séparé est utilisé dans l'ensemble du schéma;
- schéma d'alimentation TN-C-S: dans lequel les fonctions de neutre et de protection sont combinées en un seul conducteur dans une partie du schéma;
- schéma d'alimentation TN-C: dans lequel les fonctions de neutre et de protection sont combinées en un seul conducteur dans l'ensemble du schéma.

Certains schémas TN sont alimentés à partir de l'enroulement secondaire d'un transformateur ayant un point milieu mis à la terre (neutre). Lorsque les deux conducteurs de phase et le conducteur de neutre sont disponibles, ces schémas sont communément appelés schémas monophasés à 3 conducteurs.

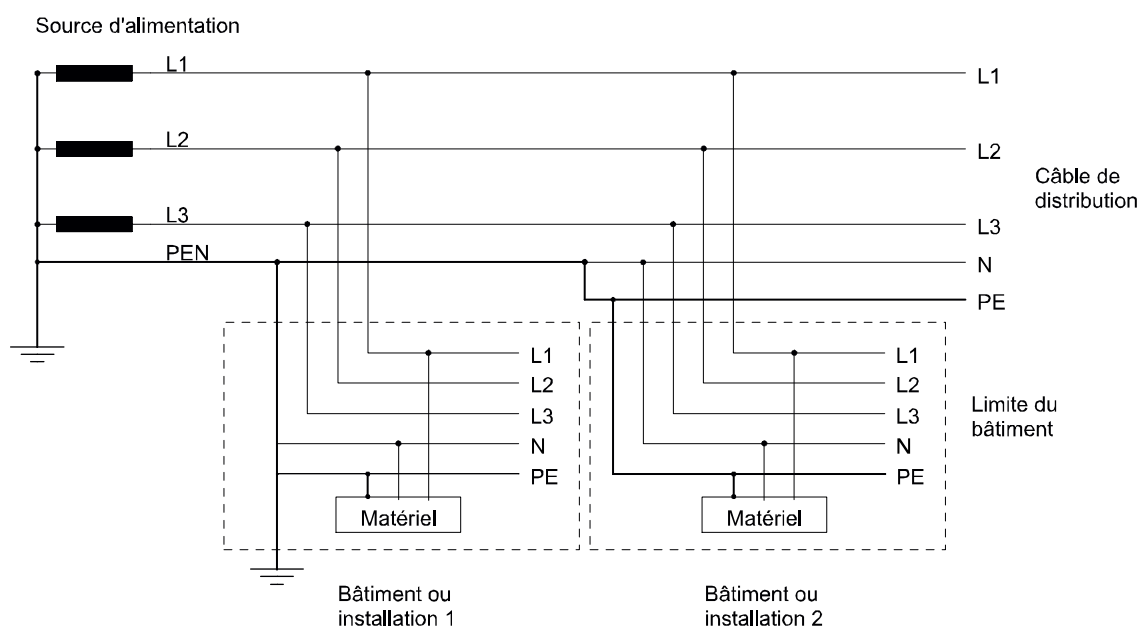


Conducteur neutre et conducteur de protection distincts



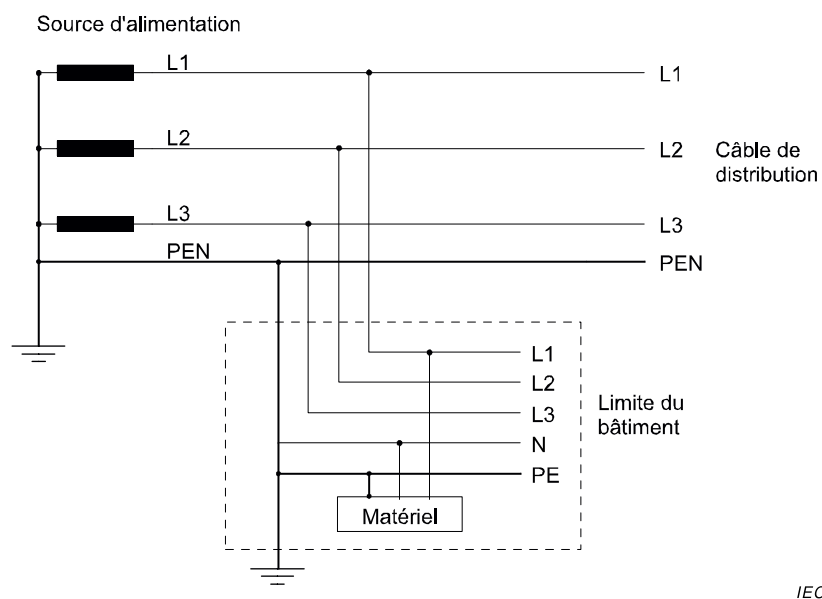
Conducteur actif mis à la terre

**Figure I.1 – Exemples de schéma TN-S**



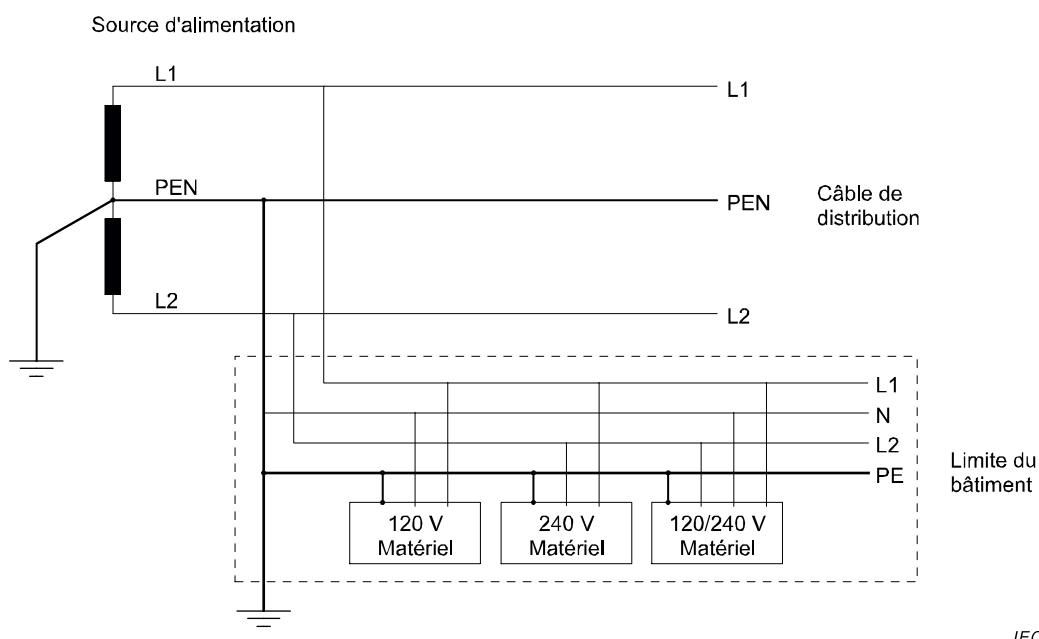
Le point où le conducteur PEN est séparé en conducteur de mise à la terre de protection et conducteur neutre peut se situer à l'entrée du bâtiment ou aux tableaux de distribution à l'intérieur du bâtiment.

**Figure I.2 – Exemple de schéma TN-C-S**



Fonctions de neutre et de protection combinées en un seul conducteur (PEN)

**Figure I.3 – Exemple de schéma TN-C**



IEC

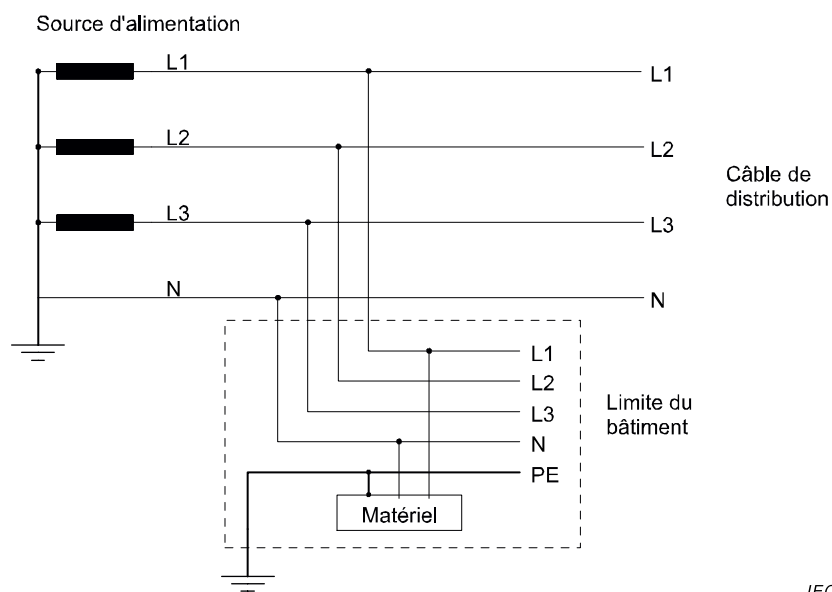
Fonctions de neutre et de protection combinées en un seul conducteur (PEN)

Ce schéma est largement utilisé en Amérique du Nord pour une alimentation en 120 V/240 V.

**Figure I.4 – Exemple de schéma monophasé TN-C à 3 conducteurs**

### I.3 Schémas d'alimentation TT

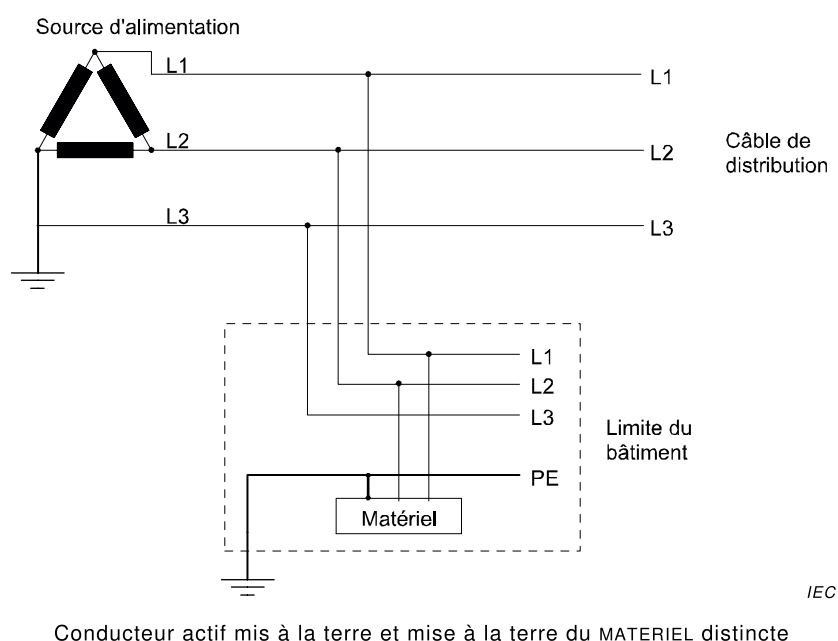
Les schémas TT ont un point directement relié à la terre, les parties du matériel devant être mises à la terre étant reliées à des prises de terre des locaux de l'utilisateur électriquement distinctes des prises de terre du schéma de distribution d'énergie.



IEC

Neutre mis à la terre et mise à la terre du MATÉRIEL distincte

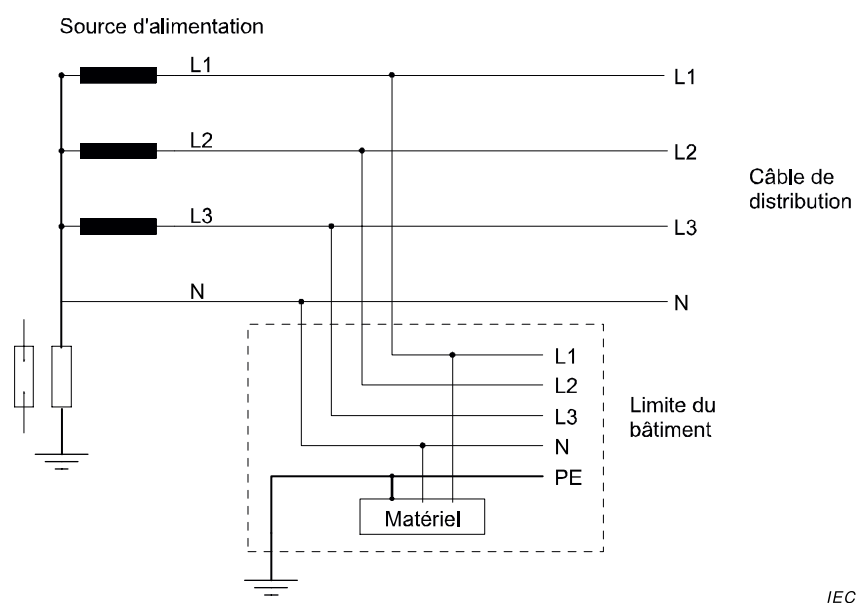
**Figure I.5 – Exemple de schéma TT à 3 conducteurs actifs et neutre**



**Figure I.6 – Exemple de schéma TT à 3 conducteurs actifs**

#### I.4 Schémas d'alimentation IT

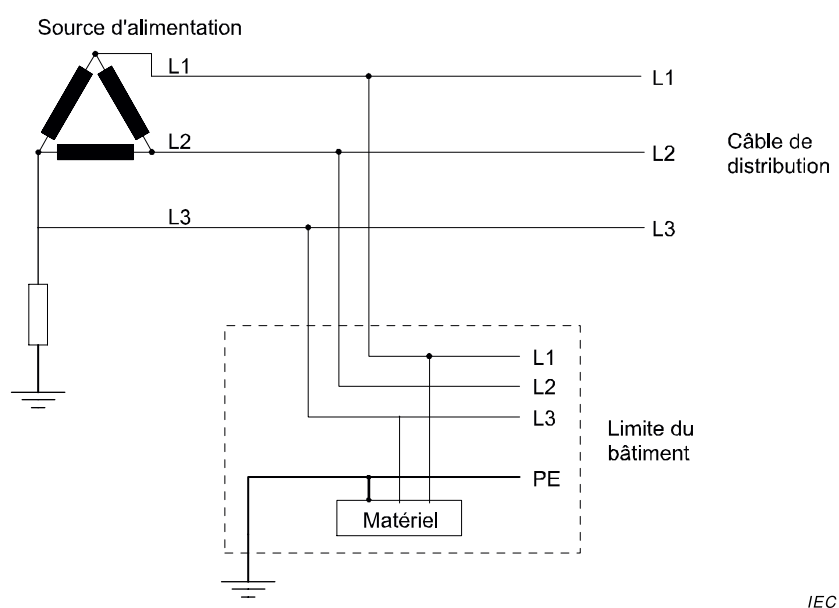
Les schémas IT sont isolés de la terre, à l'exception d'un point qui peut être relié à la terre par l'intermédiaire d'une impédance ou d'un limiteur de tension. Les parties du MATERIEL devant être mises à la terre sont reliées à des prises de terre des locaux de l'utilisateur.



Le neutre peut être relié à la terre par l'intermédiaire d'une impédance ou d'un limiteur de tension, ou isolé de la terre.

Ce schéma est largement utilisé isolé de la terre, dans certaines installations en France, avec une impédance à la terre, en 230 V/400 V, et en Norvège, avec un limiteur de tension, neutre non distribué, en 230 V entre phases.

**Figure I.7 – Exemple de schéma IT à 3 conducteurs actifs (et neutre)**



Le schéma peut être isolé de la terre.

**Figure I.8 – Exemple de schéma IT à 3 conducteurs actifs**

## **Annexe J** (informative)

### **Essais individuels de série et essais périodiques du courant de contact et essais après réparation ou modification, pour les matériels alimentés par le réseau**

La présente Annexe définit les méthodes et procédures pour effectuer des essais de nouvelle vérification du COURANT DE CONTACT conformément aux exigences de conception de la norme de produit, au cours de la production (essai individuel de série), après réparation ou modification et périodiquement au cours de l'utilisation.

L'objectif est de faire effectuer les essais par des techniciens ou autres personnes qualifiées qui utilisent des procédures simples permettant d'obtenir une exactitude suffisante. Il convient que les résultats de mesure soient faciles à interpréter. Il convient que l'appareil de mesure soit économique et facile à utiliser dans les conditions usuelles de terrain.

#### **Méthode**

Les essais doivent être effectués en utilisant les procédures de la présente norme avec le réseau de mesure approprié. Les essais doivent être effectués dans les conditions d'environnement d'un emplacement approprié de terrain ou d'usine.

Le MATERIEL doit être soumis à l'essai dans une configuration autonome, sans autre connexion extérieure que l'alimentation par le réseau.

Le COURANT DE CONTACT doit être mesuré et doit être à la limite définie dans la norme du MATERIEL ou au-dessous de cette limite, comme suit:

- si la limite est donnée en courant continu, mesurer le courant continu et le comparer avec la limite;
- si la limite est donnée en valeur de crête de courant, mesurer la valeur de crête du courant et la comparer avec la limite en valeur de crête;
- si la limite est donnée en valeur efficace de courant, mesurer la valeur efficace du courant et la comparer avec la limite en valeur efficace.

Il n'est pas exigé d'effectuer des essais individuels de série ou des essais périodiques pour les courants de BRULURE ELECTRIQUE sauf spécification contraire dans la norme de MATERIEL.

## Annexe K (normative)

### Qualités de fonctionnement et étalonnage du réseau

#### K.1 Qualités de fonctionnement et étalonnage initial du réseau ou de l'appareil

Les mesures du rapport entre la tension d'entrée et le courant d'entrée (impédance d'entrée) et du rapport entre la tension de sortie et le courant d'entrée (impédance de transfert ou réponse du réseau) sont comparées avec des valeurs idéales calculées à partir des valeurs nominales des composants spécifiées à la Figure 3, à la Figure 4 et à la Figure 5. Des précautions sont prises pour la disposition des circuits du matériel d'essai afin que la capacité entre composants, l'inductance des fils et les caractéristiques de l'appareil de mesure de la tension n'affectent pas de façon significative les rapports entre tension et courant.

Une bande de garde indiquant l'incertitude de mesure pour différentes fréquences est spécifiée pour chaque appareil. Les qualités de fonctionnement des réseaux de mesure peuvent, si nécessaire, être ajustées pour réduire la largeur de la bande de garde.

NOTE 1 L'incertitude de mesure est la caractérisation de la plage dans laquelle la valeur vraie d'un mesurage est censée se trouver; il s'agit d'un terme courant dans le domaine de la métrologie et de l'étalonnage.

NOTE 2 Des lignes directrices pour l'ajustement des qualités de fonctionnement des réseaux de mesure sont données en G.4.

Les qualités de fonctionnement d'un réseau de mesure sont vérifiées en injectant un courant sinusoïdal à fréquence variable à l'entrée de l'appareil, bornes d'essai A et B à la Figure 3, à la Figure 4 et à la Figure 5. Le courant d'entrée ( $I$ ), la tension d'entrée ( $U$ ) et la tension de sortie ( $U_1$ ,  $U_2$  ou  $U_3$ ) sont mesurés à différentes fréquences. Si possible, la tension de sortie est mesurée avec le même voltmètre que celui qui sera utilisé pour tous les mesurages sur le MATERIEL pour la certification du produit et pour toutes les procédures de confirmation (voir l'Article K.2).

**Tableau K.1 – Impédance d'entrée et impédance de transfert calculées pour le réseau de mesure du courant de contact non pondéré (Figure 3)**

| Fréquence<br>Hz | Impédance d'entrée<br>$U / I$ | Impédance de transfert<br>$U_1 / I$ |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| 20              | 1 998                         | 500                                 |
| 50              | 1 990                         | 500                                 |
| 60              | 1 986                         | 500                                 |
| 100             | 1 961                         | 500                                 |
| 200             | 1 857                         | 500                                 |
| 500             | 1 434                         | 500                                 |
| 1 000           | 979                           | 500                                 |
| 2 000           | 675                           | 500                                 |
| 5 000           | 533                           | 500                                 |
| 10 000          | 509                           | 500                                 |
| 20 000          | 502                           | 500                                 |
| 50 000          | 500                           | 500                                 |
| 100 000         | 500                           | 500                                 |
| 200 000         | 500                           | 500                                 |
| 500 000         | 500                           | 500                                 |

| Fréquence<br>Hz | Impédance d'entrée<br>$U / I$ | Impédance de transfert<br>$U_1 / I$ |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| 1 000 000       | 500                           | 500                                 |

**Tableau K.2 – Impédance d'entrée et impédance de transfert calculées pour le réseau de mesure du courant de contact pour la réaction de tressaillement (Figure 4)**

| Fréquence<br>Hz | Impédance d'entrée<br>$U / I$ | Impédance de transfert<br>$U_2 / I$ |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| 20              | 1 998                         | 500                                 |
| 50              | 1 990                         | 499                                 |
| 60              | 1 986                         | 498                                 |
| 100             | 1 961                         | 495                                 |
| 200             | 1 857                         | 480                                 |
| 500             | 1 433                         | 405                                 |
| 1 000           | 973                           | 284                                 |
| 2 000           | 661                           | 162,9                               |
| 5 000           | 512                           | 68,3                                |
| 10 000          | 485                           | 34,4                                |
| 20 000          | 479                           | 17,21                               |
| 50 000          | 477                           | 6,89                                |
| 100 000         | 476                           | 3,45                                |
| 200 000         | 476                           | 1,722                               |
| 500 000         | 476                           | 0,689                               |
| 1 000 000       | 476                           | 0,345                               |

**Tableau K.3 – Impédance d'entrée et impédance de transfert calculées pour le réseau de mesure du courant de contact pour le non-lâcher/l'immobilisation (Figure 5)**

| Fréquence<br>Hz | Impédance d'entrée<br>$U / I$ | Impédance de transfert<br>$U_3 / I$ |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| 20              | 1 998                         | 500                                 |
| 50              | 1 990                         | 499                                 |
| 60              | 1 986                         | 499                                 |
| 100             | 1 961                         | 496                                 |
| 200             | 1 858                         | 484                                 |
| 500             | 1 434                         | 427                                 |
| 1 000           | 976                           | 340                                 |
| 2 000           | 667                           | 251                                 |
| 5 000           | 515                           | 144,3                               |
| 10 000          | 487                           | 79,9                                |
| 20 000          | 479                           | 41,2                                |
| 50 000          | 477                           | 16,63                               |
| 100 000         | 476                           | 8,32                                |
| 200 000         | 476                           | 4,16                                |
| 500 000         | 476                           | 1,666                               |
| 1 000 000       | 476                           | 0,833                               |

## **K.2 Étalonnage dans un système de confirmation**

### **K.2.1 Généralités**

NOTE La confirmation métrologique (abrégée en «confirmation» dans la présente norme) est un ensemble d'opérations exigées pour s'assurer qu'un appareil de mesure est dans un état conforme aux exigences pour son utilisation prévue.

Chaque appareil utilisé pour déterminer l'acceptabilité des MATÉRIELS pour la certification doit être étalonné périodiquement dans le cadre d'un système de confirmation pour s'assurer qu'il n'y a pas eu de dérive de ses qualités de fonctionnement au-delà des limites d'erreur permises. Il est nécessaire de se référer à la bande de garde et à d'autres données enregistrées pour l'appareil de mesure particulier pendant son étalonnage initial (voir l'Article K.1).

Si un appareil de mesure particulier a dérivé au-delà des limites permises, les mesurages effectués avec cet appareil sur les MATÉRIELS depuis la dernière confirmation d'étalonnage doivent être revus pour vérifier leur validité.

L'étalonnage dans un système de confirmation s'effectue en deux étapes.

### **K.2.2 Mesurage de la résistance d'entrée**

La résistance d'entrée en courant continu est mesurée et sa valeur est vérifiée en la comparant avec la valeur idéale (2 000  $\Omega$ ) et la valeur déterminée pendant l'étalonnage initial.

NOTE Ce mesurage permet de prévenir la possibilité qu'une dérive de l'impédance d'entrée se soit produite en même temps qu'une dérive de la réponse de l'appareil, entraînant une addition ou une annulation des erreurs.

### **K.2.3 Mesurage des qualités de fonctionnement de l'appareil**

La tension d'entrée et la tension de sortie (ou l'indication en milliampères donnée par l'appareil de mesure) sont mesurées pour différentes fréquences et les rapports sont comparés avec les données indiquées dans le Tableau K.4, le Tableau K.5 ou le Tableau K.6, selon le cas. Si possible, la tension de sortie est mesurée avec le même voltmètre que celui qui sera utilisé pour l'étalonnage initial et pendant tous les mesurages sur les MATÉRIELS pour la certification des produits. Il est suffisant d'effectuer les mesurages à un nombre limité de fréquences dans toute la plage de fréquences considérée dans la mesure où une attention particulière est portée aux fréquences les plus élevées. Il convient que les tensions d'entrée soient telles qu'elles produisent en sortie des indications dans la plage des valeurs limites du COURANT DE CONTACT pour laquelle l'appareil de mesure est prévu, tout en respectant la puissance assignée des composants internes.

NOTE Le Tableau K.4, le Tableau K.5 et le Tableau K.6 sont déduits du Tableau K.1, du Tableau K.2 et du Tableau K.3 respectivement mais, afin de simplifier la procédure de confirmation, la présentation des données permet d'éviter le mesurage du courant d'entrée aux fréquences élevées.

**Tableau K.4 – Rapports entre la tension de sortie et la tension d'entrée pour le réseau de mesure du courant de contact non pondéré (Figure 3)**

| Fréquence<br>Hz | Rapport entre tension de<br>sortie et tension d'entrée | Rapport entre tension<br>d'entrée et tension de<br>sortie | Indication de la tension<br>d'entrée par milliampère |
|-----------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 20              | 0,250                                                  | 4,00                                                      | 2,00                                                 |
| 50              | 0,251                                                  | 3,98                                                      | 1,99                                                 |
| 60              | 0,252                                                  | 3,97                                                      | 1,99                                                 |
| 100             | 0,255                                                  | 3,92                                                      | 1,96                                                 |
| 200             | 0,269                                                  | 3,72                                                      | 1,86                                                 |
| 500             | 0,349                                                  | 2,87                                                      | 1,43                                                 |
| 1 000           | 0,511                                                  | 1,96                                                      | 0,979                                                |
| 2 000           | 0,740                                                  | 1,35                                                      | 0,675                                                |
| 5 000           | 0,937                                                  | 1,07                                                      | 0,533                                                |
| 10 000          | 0,983                                                  | 1,02                                                      | 0,509                                                |
| 20 000          | 0,996                                                  | 1,00                                                      | 0,502                                                |
| 50 000          | 0,999                                                  | 1,00                                                      | 0,500                                                |
| 100 000         | 1,00                                                   | 1,00                                                      | 0,500                                                |
| 200 000         | 1,00                                                   | 1,00                                                      | 0,500                                                |
| 500 000         | 1,00                                                   | 1,00                                                      | 0,500                                                |
| 1 000 000       | 1,00                                                   | 1,00                                                      | 0,500                                                |

**Tableau K.5 – Rapports entre la tension de sortie et la tension d'entrée pour le réseau de mesure de la réaction de tressaillement (Figure 4)**

| Fréquence<br>Hz | Rapport entre tension de<br>sortie et tension d'entrée | Rapport entre tension<br>d'entrée et tension de<br>sortie | Indication de la tension<br>d'entrée<br>par milliampère |
|-----------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 20              | 0,250                                                  | 4,00                                                      | 2,00                                                    |
| 50              | 0,251                                                  | 3,99                                                      | 2,00                                                    |
| 60              | 0,251                                                  | 3,99                                                      | 1,99                                                    |
| 100             | 0,252                                                  | 3,96                                                      | 1,98                                                    |
| 200             | 0,259                                                  | 3,87                                                      | 1,93                                                    |
| 500             | 0,282                                                  | 3,54                                                      | 1,77                                                    |
| 1 000           | 0,292                                                  | 3,43                                                      | 1,71                                                    |
| 2 000           | 0,246                                                  | 4,06                                                      | 2,03                                                    |
| 5 000           | 0,133                                                  | 7,50                                                      | 3,75                                                    |
| 10 000          | 0,070 8                                                | 14,1                                                      | 7,06                                                    |
| 20 000          | 0,036 0                                                | 27,8                                                      | 13,9                                                    |
| 50 000          | 0,014 5                                                | 69,2                                                      | 34,6                                                    |
| 100 000         | 0,007 23                                               | 138                                                       | 69,1                                                    |
| 200 000         | 0,003 62                                               | 277                                                       | 138                                                     |
| 500 000         | 0,001 45                                               | 691                                                       | 346                                                     |
| 1 000 000       | 0,000 723                                              | 1 382                                                     | 691                                                     |

**Tableau K.6 – Rapports entre la tension de sortie et la tension d'entrée pour le réseau de mesure du non-lâcher/de l'immobilisation (Figure 5)**

| Fréquence<br>Hz | Rapport entre tension de<br>sortie et tension d'entrée | Rapport entre tension<br>d'entrée et tension de<br>sortie | Indication de la tension<br>d'entrée par milliampère |
|-----------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 20              | 0,250                                                  | 4,00                                                      | 2,00                                                 |
| 50              | 0,251                                                  | 3,99                                                      | 1,99                                                 |
| 60              | 0,251                                                  | 3,98                                                      | 1,99                                                 |
| 100             | 0,253                                                  | 3,95                                                      | 1,98                                                 |
| 200             | 0,261                                                  | 3,83                                                      | 1,92                                                 |
| 500             | 0,298                                                  | 3,36                                                      | 1,68                                                 |
| 1 000           | 0,348                                                  | 2,87                                                      | 1,44                                                 |
| 2 000           | 0,377                                                  | 2,65                                                      | 1,33                                                 |
| 5 000           | 0,280                                                  | 3,57                                                      | 1,79                                                 |
| 10 000          | 0,164                                                  | 6,09                                                      | 3,04                                                 |
| 20 000          | 0,086 0                                                | 11,6                                                      | 5,81                                                 |
| 50 000          | 0,034 9                                                | 28,7                                                      | 14,3                                                 |
| 100 000         | 0,017 5                                                | 57,2                                                      | 28,6                                                 |
| 200 000         | 0,008 74                                               | 114                                                       | 57,2                                                 |
| 500 000         | 0,003 50                                               | 286                                                       | 143                                                  |
| 1 000 000       | 0,001 75                                               | 572                                                       | 286                                                  |

## Bibliographie

IEC 60050-195:1998, *Vocabulaire Électrotechnique International (VEI) – Partie 195: Mise à la terre et protection contre les chocs électriques*

IEC 60050-604:1987, *Vocabulaire Électrotechnique International (VEI) – Chapitre 604: Production, transport et distribution de l'énergie électrique – Exploitation*

IEC 60065, *Appareils audio, vidéo et appareils électroniques analogues – Exigences de sécurité*

IEC 60309-1:1999, *Prises de courant pour usages industriels – Partie 1: Règles générales*

IEC 60335-1, *Appareils électrodomestiques et analogues – Sécurité – Partie 1: Exigences générales*

IEC 60364-1, *Installations électriques à basse tension – Partie 3: Principes fondamentaux, détermination des caractéristiques générales, définitions*

IEC 60364-4-41:2005, *Installations électriques à basse tension – Partie 4-41: Protection pour assurer la sécurité – Protection contre les chocs électriques*

IEC TS 60479 (toutes les parties), *Effets du courant sur l'homme et les animaux domestiques*

IEC 60601-1 (toutes les parties), *Appareils électromédicaux – Partie 1: Exigences générales pour la sécurité de base et les performances essentielles*

IEC 60950-1, *Matériels de traitement de l'information – Sécurité – Partie 1: Exigences générales*

IEC 61010-1, *Règles de sécurité pour appareils électriques de mesurage, de régulation et de laboratoire – Partie 1: Exigences générales*

IEC 62368-1, *Équipements des technologies de l'audio/vidéo, de l'information et de la communication – Partie 1: Exigences de sécurité*

Guide ISO/IEC 50, *Aspects liés à la sécurité* □ *Principes directeurs pour la sécurité des enfants dans les normes et autres spécifications*

Becker, Malhotra et Hedley-Whyte: *The distribution of radiofrequency current and burns*, Anesthesiology, Vol. 38, No. 2, Fév. 1973: 106-22 (disponible en anglais seulement)

Biegelmeier et Miksch: *Über den Einfluss der Haut auf die Körper – Impedanz des Menschen*, E.u.M., Vol. 97, Heft 9, Sept. 1980, Österreich (disponible en allemand seulement)

Bridges: *An Investigation of Low-Impedance Low-Voltage shocks*, IEEE Transactions on Power Apparatus & Systems, Vol. PAS-100, No. 4, Avr. 1981: 1529-1537 (disponible en anglais seulement)

Bridges, Ford, Sherman et Vainberg: *Electrical Shock Safety Criteria*. Pergamon, New York, 1985 (disponible en anglais seulement)

Dalziel et Mansfield: *Effect of frequency on perception currents*, AIEE Transactions, Vol. 69, Part II, 1950: 1162-1168 (disponible en anglais seulement)

Dalziel: *Effect of voltage on let-go currents*, AIEE Transactions, Vol. 62, 1943: 739-744 (disponible en anglais seulement)

Freiberger: *Der elektrische Widerstand des menschlichen Körpers gegen technischen Gleich- und Wechselstrom*, Verlag Julius Springer, Berlin, 1934 (disponible en allemand seulement)

Geddes, Leslie A., éditeur: *Handbook of Electrical Hazards and Accidents*, CRC Press, 1995 ISBN 0-8493-9431-7 (disponible en anglais seulement)

Hart: *A five-part resistor-capacitor network for measurement of voltage and current levels related to electric shock and burns*, Electrical Shock Safety Criteria. Pergamon, New York, 1985 (disponible en anglais seulement)

Hauf: *Beiträge zur Ersten Hilfe und Behandlung von unfällen durch elektrischen strom*, Bericht von der wissenschaftlichen Tagung über Elektropathologie, Freiburg, 1986 (disponible en allemand seulement)

Meng: *Touch Current Analysis for Power Supplies Designed for Energy Efficient Regulations*, IEEE PSES ISPCE symposium record, 2011 (disponible en anglais seulement)

Perkins, *Touch current comparison data*, 2006; [www.safetylink.com](http://www.safetylink.com), recherche sur Perkins

Perkins: *Touch Current Measurement Comparison: Looking at IEC 60990 Measurement Circuit Performance, Part 1: Electric Burn*, IEEE PSES Product Safety Engineering Newsletter, Vol. 4 No. 2, 2008 (disponible en anglais seulement)

Perkins: *Touch Current Measurement Comparison: Looking at IEC 60990 Measurement Circuit Performance, Part 2: Electric Shock*, IEEE PSES Product Safety Engineering Newsletter, Vol. 4 No. 3, 2008 (disponible en anglais seulement)

Perkins: *What does your Touch Current look like? Making Proper Touch Current Measurements*, IEEE PSES/ISPCE Symposium record, 2014 (disponible en anglais seulement)

Perkins & Johnson, *Touch Current demo – augmented*, IEEE PSES Symposium record, 2010 (disponible en anglais seulement)

Reilly: *Applied Bioelectricity from electrical stimulation to electropathology*, Springer-Verlag, 1998 (disponible en anglais seulement)

Reilly: *Electrical Stimulation and Electropathology*, Cambridge University Press, 1992 (disponible en anglais seulement)

Wagner: *Über die Diagnostik von Stromeintrittstellen auf der menschlichen Haut*, Dissertation Universität Erlangen, 1961 (disponible en allemand seulement)

Whittaker: *Electric shock, as it pertains to the electric fence*, UL Bulletin of Research, No. 14, 1939 (disponible en anglais seulement)

---



INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

3, rue de Varembé  
PO Box 131  
CH-1211 Geneva 20  
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11  
Fax: + 41 22 919 03 00  
[info@iec.ch](mailto:info@iec.ch)  
[www.iec.ch](http://www.iec.ch)