

TECHNICAL SPECIFICATION

SPÉCIFICATION TECHNIQUE

BASIC SAFETY PUBLICATION

PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ

**Effects of current on human beings and livestock –
Part 1: General aspects**

**Effets du courant sur l'homme et les animaux domestiques –
Partie 1: Aspects généraux**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC/TS 60479-1:2005



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2005 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: 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.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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 CEI

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

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

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

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

TECHNICAL SPECIFICATION

SPÉCIFICATION TECHNIQUE

BASIC SAFETY PUBLICATION

PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ

**Effects of current on human beings and livestock –
Part 1: General aspects**

**Effets du courant sur l'homme et les animaux domestiques –
Partie 1: Aspects généraux**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

XA

CONTENTS

FOREWORD.....	6
INTRODUCTION.....	9
1 Scope.....	11
2 Normative references	12
3 Terms and definitions	12
3.1 General definitions	12
3.2 Effects of sinusoidal alternating current in the range 15 Hz to 100 Hz	13
3.3 Effects of direct current	14
4 Electrical impedance of the human body.....	14
4.1 Internal impedance of the human body (Z_i)	14
4.2 Impedance of the skin (Z_s).....	15
4.3 Total impedance of the human body (Z_T)	15
4.4 Factors affecting initial resistance of the human body (R_o).....	15
4.5 Values of the total impedance of the human body (Z_T).....	15
4.6 Value of the initial resistance of the human body (R_o).....	23
5 Effects of sinusoidal alternating current in the range of 15 Hz to 100 Hz.....	23
5.1 Threshold of perception.....	23
5.2 Threshold of reaction.....	23
5.3 Immobilization	23
5.4 Threshold of let-go	23
5.5 Threshold of ventricular fibrillation.....	24
5.6 Other effects related to electric shocks.....	24
5.7 Effects of current on the skin.....	25
5.8 Description of time/current zones (see Figure 20).....	26
5.9 Application of heart-current factor (F)	26
6 Effects of direct current.....	27
6.1 Threshold of perception and threshold of reaction	27
6.2 Threshold of immobilization and threshold of let-go	27
6.3 Threshold of ventricular fibrillation.....	27
6.4 Other effects of current	28
6.5 Description of time/current zones (see Figure 22).....	29
6.6 Heart factor	29
Annexes	48
Annex A (normative) Measurements of the total body impedances Z_T made on living human beings and on corpses and the statistical analysis of the results	49
Annex B (normative) Influence of frequency on the total body impedance (Z_T)	52
Annex C (normative) Total body resistance (R_T) for direct current	53
Annex D (informative) Examples of calculations of Z_T	54
Bibliography.....	58

Figure 1 – Impedances of the human body.....	29
Figure 2 – Internal partial impedances Z_{ip} of the human body	30
Figure 3 – Simplified schematic diagram for the internal impedances of the human body	31
Figure 4 – Total body impedances Z_T (50 %) for a current path hand to hand, for large surface areas of contact in dry, water-wet and saltwater-wet conditions for a percentile rank of 50 % of the population for touch voltages $U_T = 25$ V to 700 V, a.c. 50/60 Hz	32
Figure 5 – Dependence of the total impedance Z_T of one living person on the surface area of contact in dry condition and at touch voltage (50 Hz)	33
Figure 6 – Dependence of the total body impedance Z_T on the touch voltage U_T for a current path from the tips of the right to the left forefinger compared with large surface areas of contact from the right to the left hand in dry conditions measured on one living person, touch voltage range $U_T = 25$ V to 200 V, a.c. 50 Hz, duration of current flow max. 25 ms	34
Figure 7 – Dependence of the total body impedance Z_T for the 50th percentile rank of a population of living human beings for large, medium and small surface areas of contact (order of magnitude 10 000 mm ² , 1 000 mm ² and 100 mm ² respectively) in dry conditions at touch voltages $U_T = 25$ V to 200 V a.c. 50/60 Hz	35
Figure 8 – Dependence of the total body impedance Z_T for the 50th percentile rank of a population of living human beings for large, medium and small surface areas of contact (order of magnitude 10 000 mm ² , 1 000 mm ² and 100 mm ² respectively) in water-wet conditions at touch voltages $U_T = 25$ V to 200 V, a.c. 50/60 Hz	36
Figure 9 – Dependence of the total body impedance Z_T for the 50th percentile rank of a population of living human beings for large, medium and small surface areas of contact (order of magnitude 10 000 mm ² , 1 000 mm ² and 100 mm ² respectively) in saltwater-wet conditions at touch voltages $U_T = 25$ V to 200 V, a.c. 50/60 Hz	37
Figure 10 – Values for the total body impedance Z_T measured on 10 living human beings with a current path hand to hand and large surface areas of contact in dry conditions at a touch voltage of 10 V and frequencies from 25 Hz to 20 kHz	38
Figure 11 – Values for the total body impedance Z_T measured on one living human being with a current path hand to hand and large surface areas of contact in dry conditions at a touch voltage of 25 V and frequencies from 25 Hz to 2 kHz	38
Figure 12 – Frequency dependence of the total body impedance Z_T of a population for a percentile rank of 50 % for touch voltages from 10 V to 1 000 V and a frequency range from 50 Hz to 2 kHz for a current path hand to hand or hand to foot, large surface areas of contact in dry conditions	39
Figure 13 – Statistical value of total body impedances Z_T and body resistances R_T for a percentile rank of 50 % of a population of living human beings for the current path hand to hand, large surface areas of contact, dry conditions, for touch voltages up to 700 V, for a.c. 50/60 Hz and d.c.	40
Figure 14 – Dependence of the alteration of human skin condition on current density i_T and duration of current flow (for detailed description of zones, see 5.7)	41
Figure 15 – Electrodes used for the measurement of the dependence of the impedance of the human body Z_T on the surface area of contact	42

Figure 16 – Oscillograms of touch voltages U_T and touch currents I_T for a.c., current path hand to hand, large surface areas of contact in dry conditions taken from measurements	43
Figure 17 – Occurrence of the vulnerable period of ventricles during the cardiac cycle	44
Figure 18 – Triggering of ventricular fibrillation in the vulnerable period – Effects on electro-cardiogram (ECG) and blood pressure	44
Figure 19 – Fibrillation data for dogs, pigs and sheep from experiments and for persons calculated from statistics of electrical accidents with transversal direction of current flow hand to hand and touch voltages $U_T = 220$ V and 380 V a.c. with body impedances Z_T (5 %)	45
Figure 20 – Conventional time/current zones of effects of a.c. currents (15 Hz to 100 Hz) on persons for a current path corresponding to left hand to feet (for explanation see Table 11).....	46
Figure 21 – Oscillogram of touch voltages U_T and touch current I_T for d.c., current path hand to hand, large surface areas of contact in dry conditions	46
Figure 22 – Conventional time/current zones of effects of d.c. currents on persons for a longitudinal upward current path (for explanation see Table 13).....	47
Figure 23 – Let-go currents for 60 Hz sinusoidal current	47
Table 1 – Total body impedances Z_T for a current path hand to hand a.c. 50/60 Hz, for large surface areas of contact in dry conditions	16
Table 2 – Total body impedances Z_T for a current path hand to hand a.c. 50/60 Hz, for large surface areas of contact in water-wet conditions	17
Table 3 – Total body impedances Z_T for a current path hand to hand a.c. 50/60 Hz, for large surface areas of contact in saltwater-wet conditions.....	18
Table 4 – Total body impedances Z_T for a current path hand to hand for medium surface areas of contact in dry conditions at touch voltages $U_T = 25$ V to 200 V a.c. 50/60 Hz (values rounded to 25 Ω)	19
Table 5 – Total body impedances Z_T for a current path hand to hand for medium surface areas of contact in water-wet conditions at touch voltages $U_T = 25$ V to 200 V a.c. 50/60 Hz (values rounded to 25 Ω)	20
Table 6 – Total body impedances Z_T for a current path hand to hand for medium surface areas of contact in saltwater-wet conditions at touch voltages $U_T = 25$ V to 200 V a.c. 50/60 Hz (values rounded to 5 Ω).....	20
Table 7 – Total body impedances Z_T for a current path hand to hand for small surface areas of contact in dry conditions at touch voltages $U_T = 25$ V to 200 V a.c. 50/60 Hz (values rounded to 25 Ω)	20
Table 8 – Total body impedances Z_T for a current path hand to hand for small surface areas of contact in water-wet conditions at touch voltages $U_T = 25$ V to 200 V a.c. 50/60 Hz (values rounded to 25 Ω)	21

Table 9 – Total body impedances Z_T for a current path hand to hand for small surface areas of contact in saltwater-wet conditions at touch voltages $U_T = 25$ V to 200 V a.c. 50/60 Hz (values rounded to 5 Ω)	21
Table 10 – Total body resistances R_T for a current path hand to hand, d.c., for large surface areas of contact in dry conditions	22
Table 11 – Time/current zones for a.c. 15 Hz to 100 Hz for hand to feet pathway : Summary of zones of Figure 20	26
Table 12 – Heart-current factor F for different current paths.....	27
Table 13 – Time/current zones for d.c. for hand to feet pathway – Summary of zones of Figure 22	29
Table A.1 – Total body impedances Z_T , electrodes type A for dry condition and deviation factors F_D (5 % and 95 %)	49
Table A.2 – Total body impedances Z_T , electrodes type B for dry, water-wet and saltwater-wet conditions and deviation factors F_D (5 % and 95 %)	49
Table A.3 – Total body impedances Z_T for dry, water-wet and saltwater-wet conditions and deviation factors F_D (5 % and 95 %).....	50
Table A.4 – Deviation factors F_D (5 %) and F_D (95 %) for dry and water-wet conditions in the touch voltage range $U_T = 25$ V up to 400 V for large, medium and small surface areas of contact.....	51
Table D.1 – 50 th percentile values for the total body impedance for a current path hands-feet medium surface area of contact for hands, large for feet, reduction factor 0,8, dry conditions, touch currents I_T and electrophysiological effects.....	56

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

EFFECTS OF CURRENT ON HUMAN BEINGS AND LIVESTOCK –

Part 1: General aspects

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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 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.

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

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

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

IEC 60479-1, which is a technical specification, has been prepared by IEC technical committee 64: Electrical installations and protection against electric shock.

This fourth edition cancels and replaces the third edition, published as a technical report in 1994, and constitutes a technical revision.

The main changes with respect to the previous edition are listed below:

- Dependence of the total body impedance Z_T for 50th percentile rank of a population of living human beings for large, average and small surface areas of a contact in dry, water-wet and saltwater-wet conditions at touch voltage $U_T = 25$ V to 200 V a.c. 50/60 Hz.
- Oscillograms of touch voltages U_T and touch currents I_T for a.c., current path hand-to-hand, large surface areas of contact in dry condition taken from measurements given in Figure 16 with the relevant explanations in the main text.
- Fibrillation data for dogs, pigs and sheep obtained from experiments and for persons calculated from statistics of electrical accidents with transversal direction of current flow, hand-to-hand and touch voltages $U_T = 220$ V to 380 V a.c. with body impedances Z_T (5%) given in Figure 19 with the relevant explanations in the main text.
- Change of Curve B in Figure 20 from 10 mA to 5 mA: conventional time/current zones of effects of a.c. current (15 Hz to 100 Hz) on persons with the relevant explanations in the main text.
- Let-go currents for 60 Hz sinusoidal current given in Figure 23 with the relevant explanations in the main text.
- new structure to the body of the standard.

This technical specification has the status of a basic safety publication in accordance with IEC Guide 104.

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

Enquiry draft	Report on voting
64/1427/DTS	64/1463/RVC

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

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

IEC 60479 consists of the following parts under the general title *Effects of current on human beings and livestock*

Part 1: General aspects

Part 2: Special aspects:

Chapter 4: Effects of alternating current with frequencies above 100 Hz

Chapter 5: Effects of special waveforms of current

Chapter 6: Effects of unidirectional single impulse currents of short duration

Part 3: Effects of currents passing through the bodies of livestock

Part 4: Effects of lightning strokes on human beings and livestock

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

- transformed into an International standard,
- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

The contents of the corrigendum of October 2006 and June 2013 have been included in this copy.

Withdrawn
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TS 60479-1:2005

INTRODUCTION

This technical specification provides basic guidance on the effects of shock current on human beings and livestock, for use in the establishment of electrical safety requirements.

In order to avoid errors in the interpretation of this specification, it must be emphasized that the data given herein is mainly based on experiments with animals as well as on information available from clinical observations. Only a few experiments with shock currents of short duration have been carried out on living human beings.

On the evidence available, mostly from animal research, the values are so conservative that the standard applies to persons of normal physiological conditions including children, irrespective of age and weight.

There are, however, other aspects to be taken into account, such as probability of faults, probability of contact with live or faulty parts, ratio between touch voltage and fault voltage, experience gained, technical feasibilities, and economics. These parameters have to be considered carefully when fixing safety requirements, for example, operating characteristics of protective devices for electrical installations.

The form of the specification as has been adopted summarizes results so far achieved which are being used by technical committee 64 as a basis for fixing requirements for protection against shock. These results are considered important enough to justify an IEC publication which may serve as a guide to other IEC committees and countries having need of such information.

This technical specification applies to the threshold of ventricular fibrillation which is the main cause of deaths by electric current. The analysis of results of recent research work on cardiac physiology and on the fibrillation threshold, taken together, has made it possible to better appreciate the influence of the main physical parameters and, especially, of the duration of the current flow.

IEC 60479-1 contains information about body impedance and body current thresholds for various physiological effects. This information can be combined to derive estimates of a.c. and d.c. touch voltage thresholds for certain body current pathways, contact moisture conditions, and skin contact areas. Information about touch voltage thresholds for physiological effects is contained in the IEC 61201.

This specification refers specifically to the effects of electric current. When an assessment of the harmful effects of any event on human beings and livestock is being made, other non-electric phenomena, including falls, heat, fire, or others should be taken into account. These matters are beyond the scope of this specification, but may be extremely serious in their own right.

Recent research work has also been conducted on the other physical accident parameters, especially the waveform and frequency of the current and the impedance of the human body. This fourth revision of IEC 60479-1 should be viewed as the logical development and evolution of the third edition.

Clause 2 of IEC 60479-1 (third edition) on the impedance of the human body contained little information on the dependence of the impedance on the surface area of contact and then only for dry conditions.

Therefore measurements were carried out on 10 persons using medium and small surface areas of contact in dry, water-wet and saltwater-wet conditions, current path hand to hand, at a touch voltage of 25 V a.c. 50 Hz. The impedance values for a percentile rank of 5 %, 50 % and 95 % have been calculated from these measurements.

Due to unpleasant sensations and the possibility of inherent danger, measurements using large surface areas of contact (order of magnitude 10 000 mm²) in dry, water-wet and saltwater-wet conditions and with medium and small surface areas of contact (order of magnitude 1 000 mm² and 100 mm²) in dry condition at touch voltages from 25 V up to and including 200 V a.c. have only been carried out on one person. By the use of deviation factors it was nevertheless possible to derive values of the total body impedance Z_T for a percentile rank of 5 %, 50 % and 95 % of a population of persons. With the same one person measurements were also made with still smaller surface areas of contact (10 mm² and 1 mm²) and between fingertips.

For the calculation of total body impedance Z_T for a percentile rank of 5 %, 50 % and 95 % of a population of persons for large surface areas of contact for touch voltages above 200 V up to 700 V and higher up to the asymptotic values the method to adapt values of Z_T measured on corpses to those of persons used for the second edition of IEC 60479-1 was improved by taking account of the different temperature of the corpses during measurements and the temperature of 37 °C for persons.

The present state of knowledge of a.c. impedance Z_T of the human body for large, medium and small surface areas of contact in dry, water-wet and salt-water-wet conditions and of the d.c.-resistance R_T of the human body for large areas of contact in dry conditions are presented.

It should be mentioned that the thresholds as order of magnitude are valid for all persons (men, women and children) independent of their state of health. Often concerns are expressed in that respect but if the background of such objections is examined it is found that such objections represent just opinions without experimental evidence. Some measurements indicate that the thresholds of perception and let-go for women are lower than for men. This may also be the case for children.

Furthermore in Clause 5 a heart-current factor F for the current path foot to foot has been introduced. This is important for electrical risks caused by step voltages.

EFFECTS OF CURRENT ON HUMAN BEINGS AND LIVESTOCK –

Part 1: General aspects

1 Scope

For a given current path through the human body, the danger to persons depends mainly on the magnitude and duration of the current flow. However, the time/current zones specified in the following clauses are, in many cases, not directly applicable in practice for designing measures of protection against electrical shock. The necessary criterion is the admissible limit of touch voltage (i.e. the product of the current through the body called touch current and the body impedance) as a function of time. The relationship between current and voltage is not linear because the impedance of the human body varies with the touch voltage, and data on this relationship is therefore required. The different parts of the human body (such as the skin, blood, muscles, other tissues and joints) present to the electric current a certain impedance composed of resistive and capacitive components.

The values of body impedance depend on a number of factors and, in particular, on current path, on touch voltage, duration of current flow, frequency, degree of moisture of the skin, surface area of contact, pressure exerted and temperature.

The impedance values indicated in this technical specification result from a close examination of the experimental results available from measurements carried out principally on corpses and on some living persons.

Knowledge of the effects of alternating current is primarily based on the findings related to the effects of current at frequencies of 50 Hz or 60 Hz which are the most common in electrical installations. The values given are, however, deemed applicable over the frequency range from 15 Hz to 100 Hz, threshold values at the limits of this range being higher than those at 50 Hz or 60 Hz. Principally the risk of ventricular fibrillation is considered to be the main mechanism of death of fatal electrical accidents.

Accidents with direct current are much less frequent than would be expected from the number of d.c. applications, and fatal electrical accidents occur only under very unfavourable conditions, for example, in mines. This is partly due to the fact that with direct current, the let-go of parts gripped is less difficult and that for shock durations longer than the period of the cardiac cycle, the threshold of ventricular fibrillation is considerably higher than for alternating current.

NOTE The IEC 60479 series contains information about body impedance and body current thresholds for various physiological effects. This information can be combined to derive estimates of a.c. and d.c. touch voltage thresholds for certain body current pathways, contact moisture conditions, and skin contact areas. Information about touch voltage thresholds for physiological effects is contained in IEC 61201.

2 Normative references

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

IEC 61201:1992, *Extra-low voltage (ELV) – Limit values*

Guide 104:1997, *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 General definitions

3.1.1

longitudinal current

current flowing lengthwise through the trunk of the human body such as from hand to feet

3.1.2

transverse current

current flowing across the trunk of the human body such as from hand to hand

3.1.3

internal impedance of the human body

Z_i

impedance between two electrodes in contact with two parts of the human body, neglecting skin impedances

3.1.4

impedance of the skin

Z_s

impedance between an electrode on the skin and the conductive tissues underneath

3.1.5

total impedance of the human body

Z_T

vectorial sum of the internal impedance and the impedances of the skin (see Figure 1)

3.1.6

initial resistance of the human body

R_0

resistance limiting the peak value of the current at the moment when the touch voltage occurs

3.1.7

dry condition

condition of the skin of a surface area of contact with regard to humidity of a living person being at rest under normal indoor environmental conditions

3.1.8**water-wet condition**

condition of the skin of a surface area of contact being exposed for 1min to water of public water supplies (average resistivity $\rho = 3\,500\,\Omega\text{cm}$, pH = 7 to 9)

3.1.9**saltwater-wet condition**

condition of the skin of a surface area of contact being exposed for 1 min to a 3 % solution of NaCl in water (average resistivity $\rho = 30\,\Omega\text{cm}$, pH = 7 to 9)

NOTE It is assumed that saltwater-wet condition simulates the condition of the skin of a sweating person or a person after immersion in seawater. Further investigations are necessary.

3.1.10**deviation factor**

F_D

total body impedance Z_T for a given percentile rank of a population divided by the total body impedance Z_T for a percentile rank of 50 % of a population at a given touch voltage

$$F_D(X\%, U_T) = \frac{Z_T(X\%, U_T)}{Z_T(50\%, U_T)}$$

3.2 Effects of sinusoidal alternating current in the range 15 Hz to 100 Hz**3.2.1****threshold of perception**

minimum value of touch current which causes any sensation for the person through which it is flowing

3.2.2**threshold of reaction**

minimum value of touch current which causes involuntary muscular contraction

3.2.3**threshold of let-go**

maximum value of touch current at which a person holding electrodes can let go of the electrodes

3.2.4**threshold of ventricular fibrillation**

minimum value of touch current through the body which causes ventricular fibrillation

3.2.5**heart-current factor**

F

relates the electric field strength (current density) in the heart for a given current path to the electric field strength (current density) in the heart for a touch current of equal magnitude flowing from left hand to feet

NOTE In the heart, the current density is proportional to the electric field strength.

3.2.6**vulnerable period**

comparatively small part of the cardiac cycle during which the heart fibres are in an inhomogeneous state of excitability and ventricular fibrillation occurs if they are excited by an electric current of sufficient magnitude

NOTE The vulnerable period corresponds to the first part of the T-wave in the electrocardiogram which is approximately 10 % of the cardiac cycle (see Figures 17 and 18).

3.3 Effects of direct current

3.3.1

total body resistance

R_T

sum of the internal resistance of the human body and the resistances of the skin

3.3.2

d.c./a.c. equivalence factor

k

ratio of direct current to its equivalent r.m.s. value of alternating current having the same probability of inducing ventricular fibrillation

NOTE As an example for shock durations longer than the period of one cardiac cycle and 50 % probability for ventricular fibrillation, the equivalence factor for 10 s is approximately:

$$k = \frac{I_{\text{d.c.-fibrillation}}}{I_{\text{a.c.-fibrillation (r.m.s.)}}} = \frac{300 \text{ mA}}{80 \text{ mA}} = 3,75 \text{ (see Figures 20 and 22)}$$

3.3.3

upward current

direct touch current through the human body for which the feet represent the positive polarity

3.3.4

downward current

direct touch current through the human body for which the feet represent the negative polarity

4 Electrical impedance of the human body

The values of body impedance depend on a number of factors and, in particular, on current path, on touch voltage, duration of current flow, frequency, degree of moisture of the skin, surface area of contact, pressure exerted and temperature.

A schematic diagram for the impedance of the human body is shown in Figure 1.

4.1 Internal impedance of the human body (Z_i)

The internal impedance of the human body can be considered as mostly resistive. Its value depends primarily on the current path and, to a lesser extent, on the surface area of contact.

NOTE 1 Measurements indicate that a small capacitive component exists (dashed lines in Figure 1).

Figure 2 shows the internal impedance of the human body for its different parts expressed as percentages of that related to the path hand to foot.

For current paths hand to hand or hand to feet, the impedances are mainly located in the limbs (arms and legs). If the impedance of the trunk of the body is neglected, a simplified circuit diagram can be established which is shown in Figure 3.

NOTE 2 In order to simplify the circuit diagram, it is assumed that the impedance of arms and legs have the same values.

4.2 Impedance of the skin (Z_s)

The impedance of the skin can be considered as a network of resistances and capacitances. Its structure is made up of a semi-insulating layer and small conductive elements (pores). The skin impedance falls when the current is increased. Sometimes current marks are observed (see 4.7).

The value of the impedance of the skin depends on voltage, frequency, duration of the current flow, surface area of contact, pressure of contact, the degree of moisture of the skin, temperature and type of the skin.

For lower touch voltages the value of the impedance of the skin varies widely, even for one person, with surface area of contact and condition (dry, wet, perspiration), temperature, rapid respiration, etc. For higher touch voltages the skin impedance decreases considerably and becomes negligible when the skin breaks down.

As regards the influence of frequency, the impedance of the skin decreases when the frequency increases.

4.3 Total impedance of the human body (Z_T)

The total impedance of the human body consists of resistive and capacitive components.

For lower touch voltages, there are considerable variations in the impedance of the skin Z_s and the total impedance of the human body Z_T similarly varies widely. For higher touch voltages, the total impedance depends less and less on the impedance of the skin and its value approaches that of the internal impedance Z_i . See Figures 4 to 9.

As regards the influence of frequency, taking into account the frequency dependence of the skin impedance, the total impedance of the human body is higher for direct current and decreases when the frequency increases.

4.4 Factors affecting initial resistance of the human body (R_0)

At the moment when the touch voltage occurs, capacitances in the human body are not charged. Therefore skin impedances Z_{s1} and Z_{s2} are negligible and the initial resistance R_0 is approximately equal to the internal impedance of the human body Z_i (see Figure 1). The initial resistance R_0 depends mainly on the current path and to a lesser extent on the surface area of contact.

The initial resistance R_0 limits the current peaks of short impulses (e.g. shocks from electric fence controllers).

4.5 Values of the total impedance of the human body (Z_T)

The dependence of the total body impedance Z_T for the 50th percentile rank of a population of living human beings for large, medium and small surface areas of contact (order of magnitude 10 000 mm², 1 000 mm² and 100 mm² respectively) in dry, water-wet and saltwater-wet conditions at touch voltages $U_T = 25$ V a.c. to 200 V a.c. is shown in Figures 7, 8 and 9.

4.5.1 Sinusoidal alternating current 50/60 Hz for large surface areas of contact

The values of the total body impedances in Tables 1, 2 and 3 are valid for living human beings and a current path hand to hand for large surface areas of contact (order of magnitude 10 000 mm²) in dry (Table 1), water-wet (Table 2) and saltwater-wet (Table 3) conditions.

The range of the total body impedances for touch voltages up to 700 V for large surface areas of contact in dry, water-wet and saltwater-wet conditions for a percentile rank of 50 % of the population is presented in Figure 4.

The values for Tables 1, 2 and 3 represent the best knowledge on the total body impedances Z_T for living adults. On the knowledge at present available the total body impedance Z_T for children is expected to be somewhat higher but of the same order of magnitude.

Table 1 – Total body impedances Z_T for a current path hand to hand a.c. 50/60 Hz, for large surface areas of contact in dry conditions

Touch voltage V	Values for the total body impedances Z_T (Ω) that are not exceeded for		
	5 % of the population	50 % of the population	95 % of the population
25	1 750	3 250	6 100
50	1 375	2 500	4 600
75	1 125	2 000	3 600
100	990	1 725	3 125
125	900	1 550	2 675
150	850	1 400	2 350
175	825	1 325	2 175
200	800	1 275	2 050
225	775	1 225	1 900
400	700	950	1 275
500	625	850	1 150
700	575	775	1 050
1 000	575	775	1 050
Asymptotic value = internal impedance	575	775	1 050

NOTE 1 Some measurements indicate that the total body impedance for the current path hand to foot is somewhat lower than for a current path hand to hand (10 % to 30 %).

NOTE 2 For living persons the values of Z_T correspond to a duration of current flow of about 0,1 s. For longer durations Z_T values may decrease (about 10 % to 20 %) and after complete rupture of the skin Z_T approaches the internal body impedance Z_i .

NOTE 3 For the standard value of the voltage 230 V (network-system 3N ~ 230/400 V) it may be assumed that the values of the total body impedance are the same as for a touch voltage of 225 V.

NOTE 4 Values of Z_T are rounded to 25 Ω .

Table 2 – Total body impedances Z_T for a current path hand to hand a.c. 50/60 Hz, for large surface areas of contact in water-wet conditions

Touch voltage V	Values for the total body impedances Z_T (Ω) that are not exceeded for		
	5 % of the population	50 % of the population	95 % of the population
25	1175	2 175	4 100
50	1100	2 000	3 675
75	1025	1 825	3 275
100	975	1 675	2 950
125	900	1 550	2 675
150	850	1 400	2 350
175	825	1 325	2 175
200	800	1 275	2 050
225	775	1 225	1 900
400	700	950	1 275
500	625	850	1 150
700	575	775	1 050
1 000	575	775	1 050
Asymptotic value =internal impedance	575	775	1 050

NOTE 1 Some measurements indicate that the total body impedance for the current path hand to foot is somewhat lower than for a current path hand to hand (10 % to 30 %).

NOTE 2 For living persons the values of Z_T correspond to a duration of current flow of about 0,1 s. For longer durations Z_T values may decrease (about 10 % to 20 %) and after complete rupture of the skin Z_T approaches the internal body impedance Z_i .

NOTE 3 For the standard value of the voltage 230 V (network-system 3N ~ 230/400 V) it may be assumed that the values of the total body impedance are the same as for a touch voltage of 225 V.

NOTE 4 Values of Z_T are rounded to 25 Ω .

Table 3 – Total body impedances Z_T for a current path hand to hand a.c. 50/60 Hz, for large surface areas of contact in saltwater-wet conditions

Touch voltage V	Values for the total body impedances Z_T (Ω) that are not exceeded for		
	5 % of the population	50 % of the population	95 % of the population
25	960	1 300	1 755
50	940	1 275	1 720
75	920	1 250	1 685
100	880	1 225	1 655
125	850	1 200	1 620
150	830	1 180	1 590
175	810	1 155	1 560
200	790	1 135	1 530
225	770	1 115	1 505
400	700	950	1 275
500	625	850	1 150
700	575	775	1 050
1 000	575	775	1 050
Asymptotic value = internal impedance	575	775	1 050

NOTE 1 Some measurements indicate that the total body impedance for the current path hand to foot is somewhat lower than for a current path hand to hand (10 % to 30 %).

NOTE 2 Due to low skin impedances in this case it may be assumed that Z_T depends little on the duration of current flow; Z_T approaches the internal body impedance Z_i .

NOTE 3 For the standard value of the voltage 230 V (network-system 3N ~ 230/400 V) it may be assumed that the values of the total body impedance are the same as for a touch voltage of 225 V.

NOTE 4 Values of Z_T are rounded to 5 Ω .

The values indicated in Tables 1 to 3 have been derived from measurements carried out on corpses and on living persons (adults, males and females) as described in Annex A.

At voltages higher than approximately 125 V for water-wet conditions and 400 V for saltwater-wet conditions the values for the total body impedance are the same as for dry conditions (see Figure 4).

4.5.2 Sinusoidal alternating current 50/60 Hz for medium and small surface areas of contact

The value of the internal body impedances Z_i and of the initial body resistance R_0 (see 4.6) depend only to a small extent on the surface areas of contact.

However, when the surface area of contact is very small, in the order of a few square millimetres, the values are increased.

After the skin has broken down (for touch voltages over approx. 100 V and after longer durations of current flow), the total body impedance Z_T approaches values of the internal body impedance Z_i and depends only to a small extent on the surface area of contact and its condition of dampness.

The measurements of the dependence of the total body impedance Z_T on the surface area of contact for a.c. 50 Hz in dry, water-wet and saltwater-wet conditions which have been carried out on living persons at touch voltages of $U_T = 25$ V to 200 V are described in Annex A.

NOTE No data on Z_T for surface areas in water-wet and saltwater-wet conditions of persons or corpses is available for touch voltages above 200 V.

The dependence of the total body impedance Z_T for a current path hand to hand on the surface area of contact (from 1 mm² up to approximately 8 000 mm²) in dry condition for a touch voltage range of 25 V to 200 V, a.c. 50 Hz, measured on one person is shown in Figure 5. For touch voltages below 100 V and small surface areas of contact in the order of a few mm², deviations in the measurements can easily reach about + 50 % of the average, depending on temperature, pressure, location within the palm of the hand, etc.

The dependence of the total body impedance Z_T between the tips of the right forefinger and the left forefinger (surface area of contact approximately 250 mm²) on the touch voltage for a.c. 50/60 Hz for a voltage range from 25 V to 200 V is shown in Figure 6.

From Figure 6 one can calculate that the partial impedance of one forefinger at a touch voltage of 200 V is on the order of 1 000 Ω .

The measurements of the total body impedance Z_T shown in Figures 5 and 6 have been carried out on one living person only.

For a percentile rank of 5 %, 50 % and 95 % of a population of living human beings on the knowledge at present available the following presentation is given for the total body impedance Z_T for large, medium and small surface areas of contact (order of magnitude 10 000 mm², 1 000 mm² and 100 mm² respectively) in dry, water-wet and saltwater-wet conditions:

- for large surface areas of contact, the values have been presented in Tables 1, 2 and 3 for dry, water-wet and saltwater-wet conditions for touch voltages $U_T = 25$ V to 1 000 V, a.c. 50/60 Hz;
- for medium surface areas of contact, the values are presented in the following Tables 4, 5 and 6 for dry, water-wet and saltwater-wet conditions for touch voltages $U_T = 25$ V to 200 V a.c. 50/60 Hz;
- for small surface areas of contact, the values are presented in the following Tables 7, 8 and 9 for dry, water-wet and saltwater-wet conditions for touch voltages $U_T = 25$ V to 200 V a.c. 50/60 Hz.

Table 4 – Total body impedances Z_T for a current path hand to hand for medium surface areas of contact in dry conditions at touch voltages $U_T = 25$ V to 200 V a.c. 50/60 Hz (values rounded to 25 Ω)

Touch voltage V	Values for the total body impedances Z_T (Ω) that are not exceeded for		
	5 % of the population	50 % of the population	95 % of the population
25	11 125	20 600	38 725
50	7 150	13 000	23 925
75	4 625	8 200	14 750
100	3 000	5 200	9 150
125	2 350	4 000	6 875
150	1 800	3 000	5 050
175	1 550	2 500	4 125
200	1 375	2 200	3 525

Table 5 – Total body impedances Z_T for a current path hand to hand for medium surface areas of contact in water-wet conditions at touch voltages $U_T = 25$ V to 200 V a.c. 50/60 Hz (values rounded to 25 Ω)

Touch voltage V	Values for the total body impedances Z_T (Ω) that are not exceeded for		
	5 % of the population	50 % of the population	95 % of the population
25	5 050	9 350	17 575
50	4 100	7 450	13 700
75	3 400	6 000	10 800
100	2 800	4 850	8 525
125	2 350	4 000	6 875
150	1 800	3 000	5 050
175	1 550	2 500	4 125
200	1 375	2 200	3 525

Table 6 – Total body impedances Z_T for a current path hand to hand for medium surface areas of contact in saltwater-wet conditions at touch voltages $U_T = 25$ V to 200 V a.c. 50/60 Hz (values rounded to 5 Ω)

Touch voltage V	Values for the total body impedances Z_T (Ω) that are not exceeded for		
	5 % of the population	50 % of the population	95 % of the population
25	1 795	2 425	3 275
50	1 765	2 390	3 225
75	1 740	2 350	3 175
100	1 715	2 315	3 125
125	1 685	2 280	3 075
150	1 660	2 245	3 030
175	1 525	2 210	2 985
200	1 350	2 175	2 935

Table 7 – Total body impedances Z_T for a current path hand to hand for small surface areas of contact in dry conditions at touch voltages $U_T = 25$ V to 200 V a.c. 50/60 Hz (values rounded to 25 Ω)

Touch voltage V	Values for the total body impedances Z_T (Ω) that are not exceeded for		
	5 % of the population	50 % of the population	95 % of the population
25	91 250	169 000	317 725
50	74 800	136 000	250 250
75	42 550	74 000	133 200
100	23 000	40 000	70 400
125	12 875	22 000	37 850
150	7 200	12 000	20 225
175	4 000	6 500	10 725
200	3 500	5 400	8 650

Table 8 – Total body impedances Z_T for a current path hand to hand for small surface areas of contact in water-wet conditions at touch voltages $U_T = 25 \text{ V}$ to 200 V a.c. 50/60 Hz (values rounded to 25Ω)

Touch voltage V	Values for the total body impedances $Z_T (\Omega)$ that are not exceeded for		
	5 % of the population	50 % of the population	95 % of the population
25	39 700	73 500	138 175
50	29 800	54 200	99 725
75	22 600	40 000	72 000
100	17 250	30 000	52 800
125	12 875	22 000	37 850
150	7 200	12 000	20 225
175	4 000	6 500	10 725
200	3 500	5 400	8 650

Table 9 – Total body impedances Z_T for a current path hand to hand for small surface areas of contact in saltwater-wet conditions at touch voltages $U_T = 25 \text{ V}$ to 200 V a.c. 50/60 Hz (values rounded to 5Ω)

Touch voltage V	Values for the total body impedances $Z_T (\Omega)$ that are not exceeded for		
	5 % of the population	50 % of the population	95 % of the population
25	5 400	7 300	9 855
50	5 105	6 900	9 315
75	4 845	6 550	8 840
100	4 590	6 200	8 370
125	4 330	5 850	7 900
150	4 000	5 550	7 490
175	3 700	5 250	7 085
200	3 400	5 000	6 750

4.5.3 Sinusoidal alternating current with frequencies up to 20 kHz

The values of the total body impedance for 50/60 Hz decrease at higher frequencies due to the influence of the capacitances of the skin and approach, for frequencies above 5 kHz, the internal body impedance Z_i .

The measurements of the total body impedance with frequencies up to 20 kHz at touch voltages of 10 V and 25 V are described in Annex B.

Figure 10 shows the frequency dependence of the total body impedance Z_T for a current path hand to hand and large surface areas of contact for a touch voltage of 10 V and frequencies from 25 Hz to 20 kHz.

Figure 11 shows the frequency dependence of the total body impedance Z_T for a current path hand to hand and large surface areas of contact for a touch voltage of 25 V and frequencies from 25 Hz to 2 kHz. From the results, curves have been derived giving the dependence of the total body impedance Z_T of a population for the 50th percentile rank for touch voltages from 10 V to 1 000 V and a frequency range from 50 Hz to 2 kHz for a current path hand to hand or hand to foot for large surface areas of contact in dry condition. The curves are shown in Figure 12.

NOTE No measurements have been carried out in water-wet and saltwater-wet conditions.

4.5.4 Direct current

The total body resistance R_T for direct current is higher than the total body impedance Z_T for alternating current for touch voltages up to approximately 200 V due to the blocking effect of the capacitances of the human skin.

The measurements of the total body impedance which have been carried out with direct current for large surface areas of contact in dry condition are described in Annex C.

NOTE No measurements have been carried out in water-wet and saltwater-wet conditions.

The values for the total body resistance R_T for direct current determined in the way described in Annex C are presented in Table 10 (see Figure 13, continuous lines).

For large surface areas of contact in water-wet and saltwater-wet conditions the total body resistance R_T may be determined with sufficient accuracy from Tables 2 and 3, while neglecting small differences of Z_T between a.c. and d.c. which may exist in the voltage range below 100 V. For all other cases, the tables for a.c. can be used for a conservative estimate.

Table 10 – Total body resistances R_T for a current path hand to hand, d.c., for large surface areas of contact in dry conditions

Touch voltage V	Values for the total body resistance R_T (Ω) that are not exceeded for		
	5 % of the population	50 % of the population	95 % of the population
25	2 100	3 875	7 275
50	1 600	2 900	5 325
75	1 275	2 275	4 100
100	1 100	1 900	3 350
125	975	1 675	2 875
150	875	1 475	2 475
175	825	1 350	2 225
200	800	1 275	2 050
225	775	1 225	1 900
400	700	950	1 275
500	625	850	1 150
700	575	775	1 050
1 000	575	775	1 050
Asymptotic value	575	775	1 050

NOTE 1 Some measurements indicate that the total body resistance R_T for the current path hand to foot is somewhat lower than for a current path hand to hand (10 % to 30 %).

NOTE 2 For living persons, the values of R_T correspond to a duration of current flow of about 0,1 s. For longer durations R_T values may decrease (about 10 % to 20 %) and after complete rupture of the skin R_T approaches the initial body resistance R_0 .

NOTE 3 Values of R_T are rounded to 25 Ω .

4.6 Value of the initial resistance of the human body (R_0)

The value of the initial resistance of the human body R_0 for a current path hand to hand or hand to foot and large surface areas of contact can be taken as equal to 500 Ω for a percentile rank of 5 % for a.c. and for d.c. The values for 50 % and 95 % of the population can be taken as equal to 750 Ω and 1 000 Ω respectively (similar to Table 1). The values depend only little on the surface areas of contact and on conditions of the skin.

NOTE The values for initial resistance R_0 are somewhat lower than the asymptotic values for the total body impedance Z_T for a.c. 50/60 Hz and the total body resistance R_T for d.c., because when contact is made the capacitances of the skin and the internal capacitance of the body are uncharged.

5 Effects of sinusoidal alternating current in the range of 15 Hz to 100 Hz

This clause describes the effects of sinusoidal alternating current passing through the human body within the frequency range 15 Hz to 100 Hz.

NOTE Unless otherwise specified, the current values defined hereinafter are r.m.s. values.

Examples of touch currents and their effects are shown in Figure 20.

5.1 Threshold of perception

The threshold depends on several parameters, such as the area of the body in contact with an electrode (contact area), the conditions of contact (dry, wet, pressure, temperature), and also on the physiological characteristics of the individual.

5.2 Threshold of reaction

The threshold depends on several parameters, such as the area of the body in contact with an electrode (contact area), the conditions of contact (dry, wet, pressure, temperature), and also on the physiological characteristics of the individual.

A value of 0,5 mA independent of time, is assumed in this technical specification for the threshold of reaction when touching a conductive surface.

5.3 Immobilization

Immobilisation in this document means the effect of electric current such that the body of the influenced human being (or part of the body) cannot move voluntarily.

The effect on muscles may result from current flowing through the affected muscles or through associated nerves or the associated part of the brain.

The values of current which cause immobilisation depend on the volume of the muscles affected, the type of nerve and the parts of the brain affected by the current.

5.4 Threshold of let-go

The threshold of let-go depends on several parameters, such as the contact area, the shape and size of the electrodes and also on the physiological characteristics of the individual.

A value of about 10 mA is assumed for adult males in this technical specification.

In this document a value of about 5 mA covers the entire population (for additional information, see Figure 23).

5.5 Threshold of ventricular fibrillation

The threshold of ventricular fibrillation depends on physiological parameters (anatomy of the body, state of cardiac function, etc.) as well as on electrical parameters (duration and pathway of current flow, current characteristic, etc.). A description of heart activity is given in Figures 17 and 18.

With sinusoidal a.c. (50 Hz or 60 Hz), there is a considerable decrease in the threshold of fibrillation if the current flow is prolonged beyond one cardiac cycle. This effect results from the increase in inhomogeneity of the excitatory state of the heart due to the current induced extra-systoles.

For shock durations below 0,1 s, fibrillation may occur for current magnitudes above 500 mA, and is likely to occur for current magnitudes in the order of several amperes, only if the shock falls within the vulnerable period. For shocks of such intensities and durations longer than one cardiac cycle reversible cardiac arrest may be caused.

For duration of current flow longer than one heart period Figure 19 shows a comparison between the thresholds of ventricular fibrillation from animal experiments and for human beings calculated from statistics of electrical accidents.

In adapting the results from animal experiments to human beings, an empirical curve c_1 (see Figure 20) was conventionally established for a current path left hand to both feet, below which fibrillation is unlikely to occur. The high level for short durations of exposure between 10 ms and 100 ms was chosen as a descending line from 500 mA to 400 mA. On the basis of information on electrical accidents, the lower level for durations longer than 1 s was chosen as a descending line from 50 mA at 1 s to 40 mA for durations longer than 3 s. Both levels were connected by smooth curves.

By statistical evaluation of animal experiments, curve c_2 and curve c_3 (see Figure 20) have been established defining a probability of fibrillation of about 5 % and 50 % respectively. Curves c_1 , c_2 and c_3 apply for current path left hand to both feet.

5.6 Other effects related to electric shocks

Other electrical effects such as muscular contractions, rise in blood pressure, disturbances of formation and conduction of cardiac impulses (including atrial fibrillation and transient rhythm disturbances) may occur. Such effects are not generally lethal.

With currents of several amperes lasting more than seconds, deep-seated burns, and other internal injuries, may occur. Surface burns may also be seen.

High voltage accidents may not result in ventricular fibrillation, instead giving other forms of cardiac arrest. This is shown in accident statistics and confirmed by animal experiments. However there is at present insufficient data to differentiate the likelihood of these conditions.

Ventricular fibrillation is fatal because it denies blood flow which transports required oxygen. Electrical accidents that do not involve ventricular fibrillation can also be fatal. Other effects may affect respiration and might prevent the person from shouting for help. These related mechanisms include functional disturbance of respiratory control, paralysis of respiratory muscles, damage to the neural activation pathways for these muscles, and damage to the respiratory control mechanism within the brainstem. These effects, if permanent, lead inevitably to death. If a person is to recover from a reversible respiratory effect, prompt artificial respiration is mandatory. Nonetheless, the person may still die. If current flows through critical parts such as the spinal cord or the respiratory control centre, death can occur. These effects are under consideration and thresholds are not yet defined.

High transmembrane electric fields can damage cells, especially long slender cells, such as skeletal muscle cells. This is not a thermal effect. This has been observed for example with high-magnitude, short-duration body currents (such as from momentary contact with high-voltage power distribution lines). A high electric field across cell membranes can induce the formation of pores in the membranes. The effect is called electroporation. The pores may be stable and ultimately seal over, or may enlarge, become unstable, and subsequently cause rupture of the cell membranes. Tissue then becomes irreversibly damaged. Necrosis of the tissue can occur, often requiring amputation of injured limbs. Electroporation is not limited to any particular current magnitude or to any particular current pathway or duration of flow.

Related non-electrical injuries, such as traumatic injury, should be considered.

5.7 Effects of current on the skin

Figure 14 shows the dependence of changes of the human skin on current density, i_T (mA/mm²) and duration of current flow.

As a guideline the following values can be given:

- below 10 mA/mm², in general no changes to the skin are observed. For longer durations of current flow (several seconds) the skin below the electrode may be of greyish-white colour with a coarse surface (zone 0);
- between 10 mA/mm² and 20 mA/mm², a reddening of the skin occurs with a wave like swelling of whitish colour along the edges of the electrode (zone 1);
- between 20 mA/mm² and 50 mA/mm², a brownish colour develops below the electrode extending into the skin. For longer durations of current flow (several tens of seconds) full current marks (blisters) are to be observed around the electrode (zone 2);
- above 50 mA/mm², carbonization of the skin can occur (zone 3);
- with large contact areas current densities may be low enough not to cause any alterations of the skin in spite of fatal current magnitudes.

5.8 Description of time/current zones (see Figure 20)

Table 11 – Time/current zones for a.c. 15 Hz to 100 Hz for hand to feet pathway – Summary of zones of Figure 20

Zones	Boundaries	Physiological effects
AC-1	Up to 0,5 mA curve a	Perception possible but usually no 'startled' reaction
AC-2	0,5 mA up to curve b	Perception and involuntary muscular contractions likely but usually no harmful electrical physiological effects
AC-3	Curve b and above	Strong involuntary muscular contractions. Difficulty in breathing. Reversible disturbances of heart function. Immobilization may occur. Effects increasing with current magnitude. Usually no organic damage to be expected
AC-4 ¹⁾	Above curve c_1 c_1 - c_2 c_2 - c_3 Beyond curve c_3	Patho-physiological effects may occur such as cardiac arrest, breathing arrest, and burns or other cellular damage. Probability of ventricular fibrillation increasing with current magnitude and time AC-4.1 Probability of ventricular fibrillation increasing up to about 5 % AC-4.2 Probability of ventricular fibrillation up to about 50 % AC-4.3 Probability of ventricular fibrillation above 50 %
¹⁾ For durations of current flow below 200 ms, ventricular fibrillation is only initiated within the vulnerable period if the relevant thresholds are surpassed. As regards ventricular fibrillation, this figure relates to the effects of current which flows in the path left hand to feet. For other current paths, the heart current factor has to be considered.		

5.9 Application of heart-current factor (F)

The heart-current factor permits the calculation of currents I_h through paths other than left hand to feet which represent the same danger of ventricular fibrillation as that corresponding to I_{ref} left hand to feet shown in Figure 20:

$$I_h = \frac{I_{ref}}{F}$$

where

I_{ref} is the body current for the path left hand to feet given in Figure 20;

I_h is the body current for paths given in Table 12;

F is the heart-current factor given in Table 12.

NOTE The heart-current factor is to be considered as only a rough estimation of the relative danger of the various current paths with regard to ventricular fibrillation.

For different current paths, the following heart-current factors are given in Table 12.

Table 12 – Heart-current factor F for different current paths

Current path	Heart-current factor F
Left hand to left foot, right foot or both feet	1,0
Both hands to both feet	1,0
Left hand to right hand	0,4
Right hand to left foot, right foot or to both feet	0,8
Back to right hand	0,3
Back to left hand	0,7
Chest to right hand	1,3
Chest to left hand	1,5
Seat to left hand, right hand or to both hands	0,7
Left foot to right foot	0,04

EXAMPLE A current of 225 mA hand to hand has the same likelihood of producing ventricular fibrillation as a current of 90 mA left hand to both feet.

6 Effects of direct current

This clause describes the effects of direct current passing through the human body.

NOTE 1 The term "direct current" means ripple-free direct current. However, as regards fibrillation effects, the data given in this clause are considered to be conservative for direct currents having a sinusoidal ripple content of not more than 10 % r.m.s.

NOTE 2 The influence of ripple is dealt with in chapter 5 of IEC 60479-2.

NOTE 3 For durations of current flow below 10 ms see chapter 6 of IEC 60479-2.

An example of a touch current and its effects are shown in Figure 21.

6.1 Threshold of perception and threshold of reaction

These thresholds depend on several parameters, such as the contact area, the conditions of contact (dryness, wetness, pressure, temperature), the duration of current flow and on the physiological characteristics of the individual. Unlike a.c., only making and breaking of current is felt and no other sensation is noticed during the current flow at the level of the threshold of perception. Under conditions comparable to those applied in studies with a.c., the threshold of reaction was found to be about 2 mA.

6.2 Threshold of immobilization and threshold of let-go

Unlike a.c. there is no definable threshold of immobilization or let-go for d.c. Only making and breaking of current lead to painful and cramp-like contractions of the muscles.

6.3 Threshold of ventricular fibrillation

As described for a.c. (see 5.5), the threshold of ventricular fibrillation induced by d.c. depends on physiological as well as on electrical parameters.

Information derived from electrical accidents seems to indicate that the danger of ventricular fibrillation generally exists for longitudinal currents. For transverse currents, experiments on animals have, however, shown that at higher current intensities ventricular fibrillation may also occur.

Experiments on animals as well as information derived from electrical accidents show that the threshold of fibrillation for a downward current is about twice as high as for an upward current.

For shock durations longer than the cardiac cycle, the threshold of fibrillation for d.c. is several times higher than for a.c. For shock durations shorter than 200 ms, the threshold of fibrillation is approximately the same as for a.c. measured in r.m.s. values.

Curves derived from animal experiments have been constructed that apply to longitudinal, upward (feet positive) current. Curves c_2 and c_3 in Figure 22 show the calculated combinations of current magnitude and duration at which the probabilities of ventricular fibrillation of the animals are about 5 % and 50 % respectively when the current path is longitudinal through the body (i.e. left foreleg to both hind legs). Curve c_1 shows current and duration combinations below which the likelihood of ventricular fibrillation is estimated to be very low for the same longitudinal pathway of current through the body based on the animal studies. Later studies show that the ventricular fibrillation threshold for humans is higher than the current magnitude as compared to the animals for each duration. For example, the left hand to feet threshold current for a healthy human might be in the order of 200 mA for long durations of current. However, not all human hearts are healthy, and some maladies can affect the ventricular fibrillation threshold. Some people with unhealthy heart conditions have ventricular fibrillation thresholds below normal, but the amount of the reduction is not precisely known. Therefore, it is recommended that the c_1 line shown in the figure that is based on animal studies, be used to describe the ventricular fibrillation threshold for humans as a conservative estimate. There are no known electrical accidents that show an electrocution below the c_1 curve. This indicates that the c_1 curve is probably conservative for all humans. For longitudinal downward current (feet negative), the curves have to be shifted to a higher current magnitude by a factor of approximately 2.

6.4 Other effects of current

Above approximately 100 mA, a sensation of warmth may be felt in the extremities during current-flow. Within the contact area, painful sensations are felt.

Transverse currents up to 300 mA flowing through the human body for several minutes might, increasing with time and current, cause reversible cardiac dysrhythmias, current marks, burns, dizziness and sometimes unconsciousness. Above 300 mA, unconsciousness frequently occurs.

With currents of several amperes lasting longer than seconds, deep-seated burns or other injuries, and even death, are likely to occur.

Effects such as electroporation (see 5.6) can result from contact with d.c. circuits as well as a.c. circuits.

Related non-electrical injuries, such as traumatic injury, should be considered.

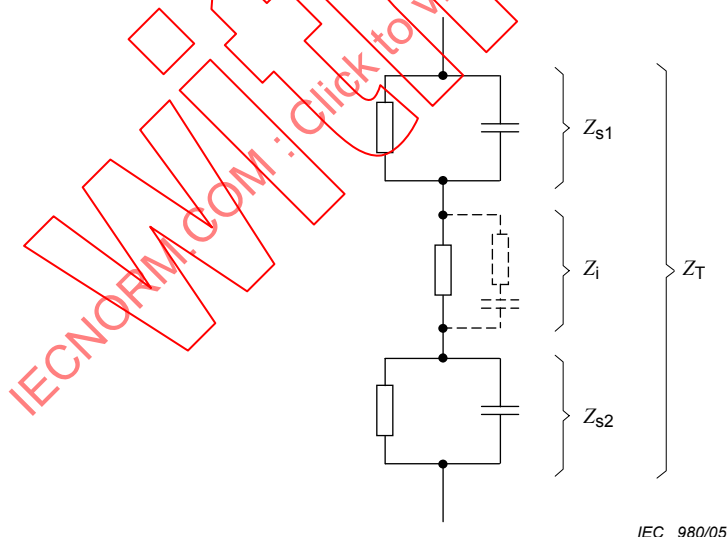
6.5 Description of time/current zones (see Figure 22)

**Table 13 – Time/current zones for d.c. for hand to feet pathway –
Summary of zones of Figure 22**

Zones	Boundaries	Physiological effects
DC-1	Up to 2 mA curve a	Slight pricking sensation possible when making, breaking or rapidly altering current flow
DC-2	2 mA up to curve b	Involuntary muscular contractions likely especially when making, breaking or rapidly altering current flow but usually no harmful electrical physiological effects
DC-3	Curve b and above	Strong involuntary muscular reactions and reversible disturbances of formation and conduction of impulses in the heart may occur, increasing with current magnitude and time. Usually no organic damage to be expected
DC-4 ¹⁾	Above curve c_1 c_1 - c_2 c_2 - c_3 Beyond curve c_3	Patho-physiological effects may occur such as cardiac arrest, breathing arrest, and burns or other cellular damage. Probability of ventricular fibrillation increasing with current magnitude and time DC-4.1 Probability of ventricular fibrillation increasing up to about 5 % DC-4.2 Probability of ventricular fibrillation up to about 50 % DC-4.3 Probability of ventricular fibrillation above 50 %
¹⁾ For durations of current flow below 200 ms, ventricular fibrillation is only initiated within the vulnerable period if the relevant thresholds are surpassed. As regards ventricular fibrillation this figure relates to the effects of current which flows in the path left hand to feet and for upward current. For other current paths the heart current factor has to be considered.		

6.6 Heart factor

The heart factor F applies to d.c. the same as for a.c. (see 5.8).



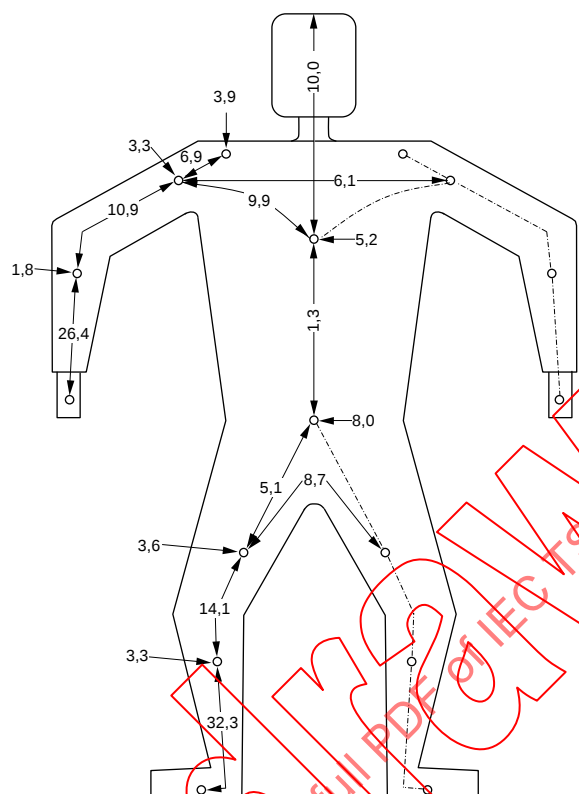
Key

Z_i internal impedance

Z_{s1} , Z_{s2} impedance of the skin

Z_T total impedance

Figure 1 – Impedances of the human body

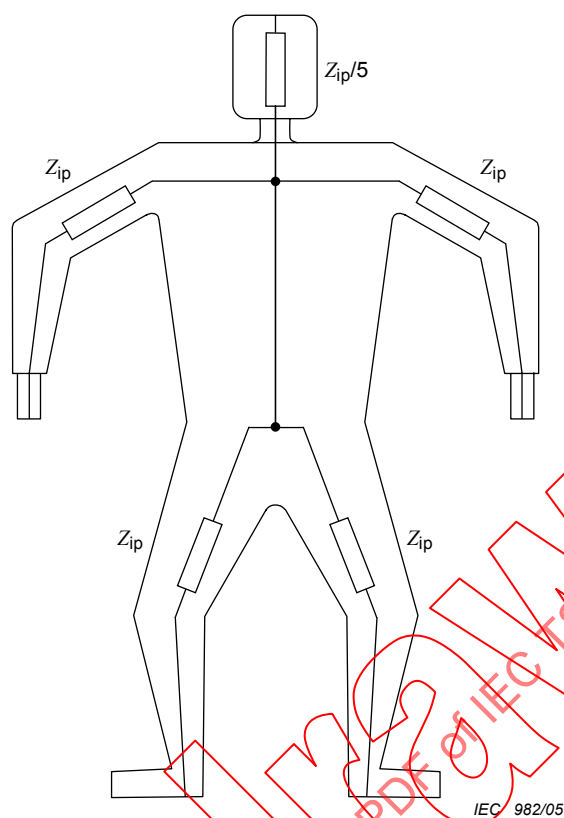


IEC 1409/13

The numbers indicate the percentage of the internal impedance of the human body for the part of the body concerned, in relation to the path hand to foot.

NOTE In order to calculate the total body impedance Z_T for a given current path, the internal partial impedances Z_{ip} for all parts of the body of the current path have to be added as well as the impedances of the skin of the surface areas of contact. The numbers outside the body show internal portions of the impedance to be added to the total, when the current enters at that point.

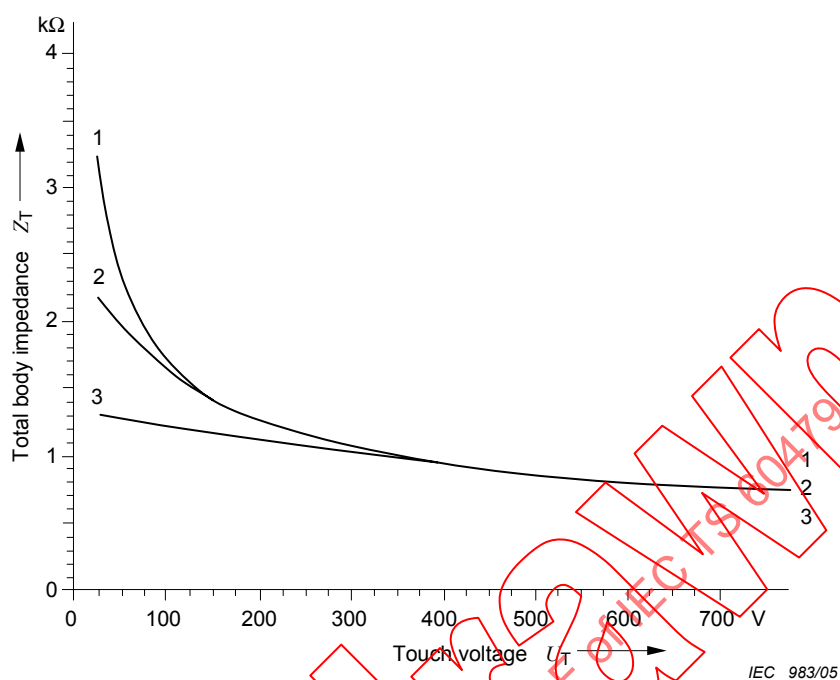
Figure 2 – Internal partial impedances Z_{ip} of the human body

**Key**

Z_{ip} internal partial impedance of one extremity (arm or leg)

NOTE The internal impedance from one hand to both feet is approximately 75 %, the impedance from both hands to both feet 50 % and the impedance from both hands to the trunk of the body 25 % of the impedance hand to hand or hand to foot.

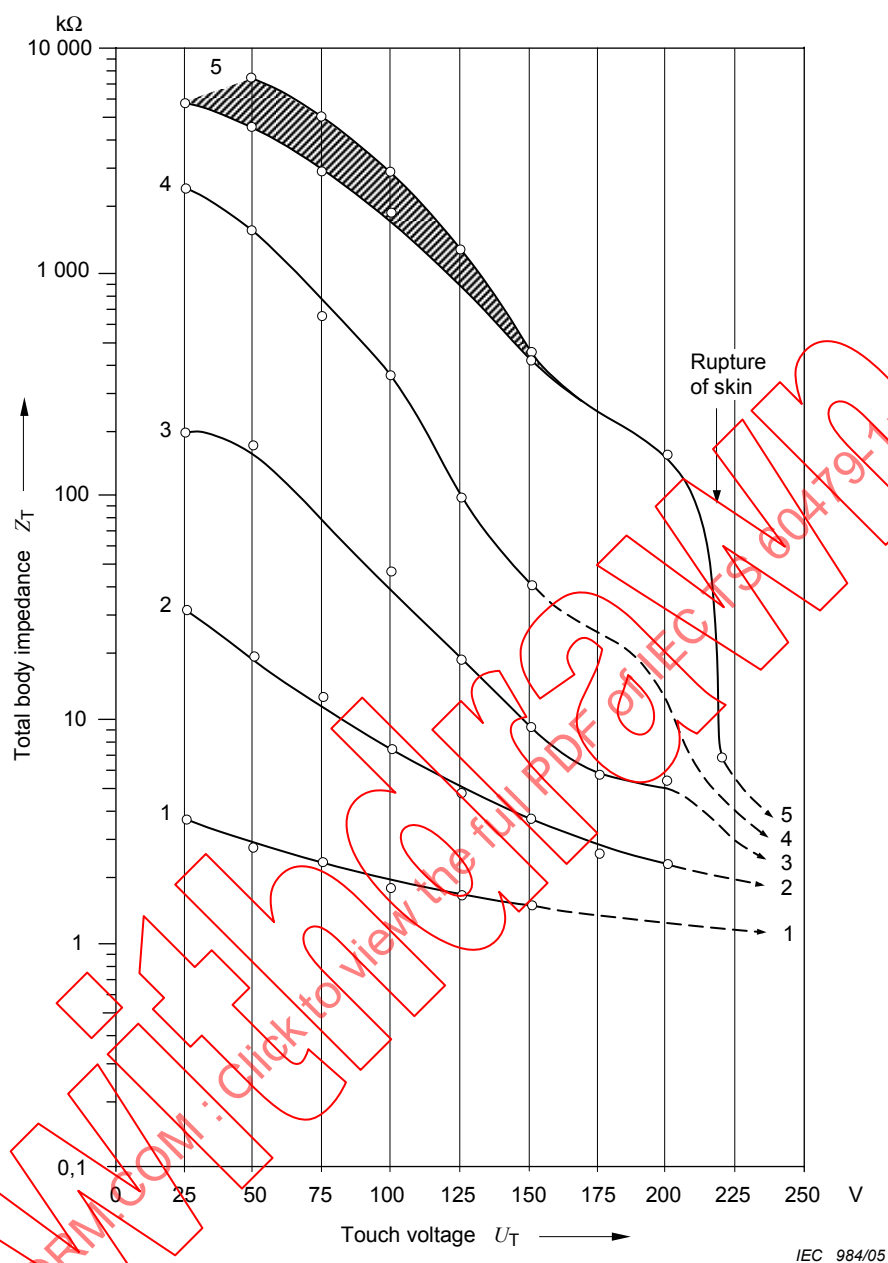
Figure 3 – Simplified schematic diagram for the internal impedances of the human body



Key

- 1 dry conditions (Table 1)
- 2 water-wet conditions (Table 2)
- 3 saltwater-wet conditions (Table 3)

Figure 4 – Total body impedances Z_T (50 %) for a current path hand to hand, for large surface areas of contact in dry, water-wet and saltwater-wet conditions for a percentile rank of 50 % of the population for touch voltages $U_T = 25$ V to 700 V, a.c. 50/60 Hz



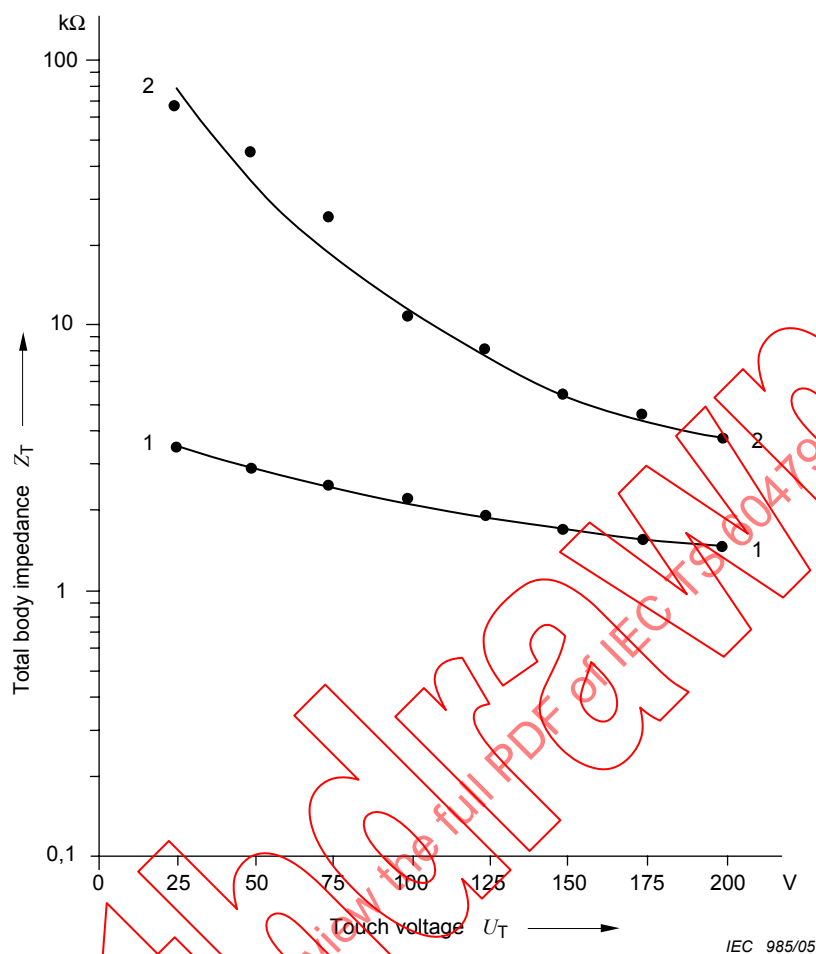
Key

(For further details, see Annex D)

- | | | |
|---|-------------------------|----------------------|
| 1 | Surface area of contact | 8200 mm ² |
| 2 | Surface area of contact | 1250 mm ² |
| 3 | Surface area of contact | 100 mm ² |
| 4 | Surface area of contact | 10 mm ² |
| 5 | Surface area of contact | 1 mm ² |

(Breakdown of the skin at 220 V)

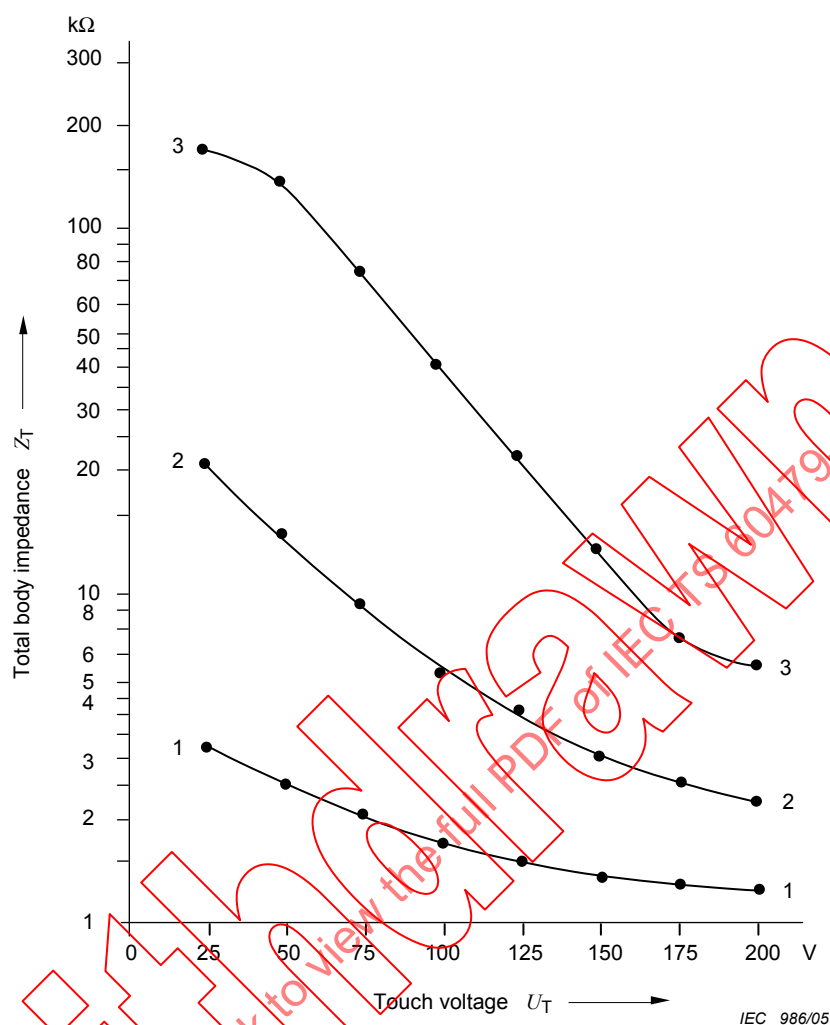
Figure 5 – Dependence of the total impedance Z_T of one living person on the surface area of contact in dry condition and at touch voltage (50 Hz)



Key

- 1 large surface areas of contact (approximately 8 000 mm²), current path hand to hand
- 2 surface areas of fingertips (approx. 250 mm²), current path from the tips of the right to left forefinger

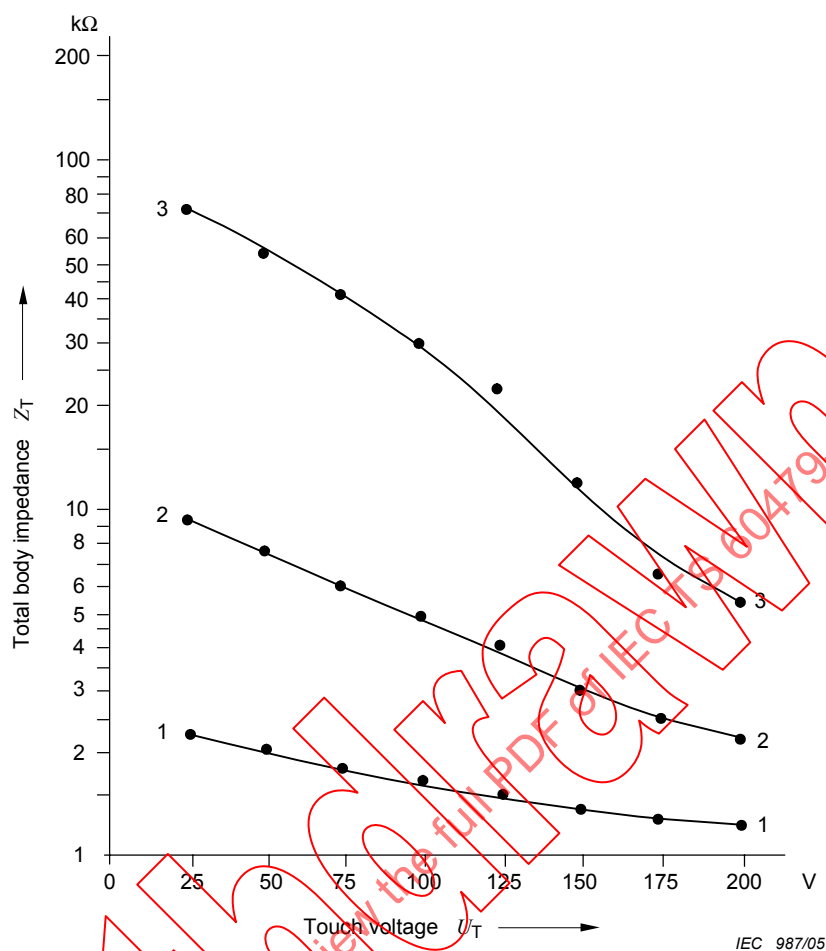
Figure 6 – Dependence of the total body impedance Z_T on the touch voltage U_T for a current path from the tips of the right to the left forefinger compared with large surface areas of contact from the right to the left hand in dry conditions measured on one living person, touch voltage range $U_T = 25$ V to 200 V, a.c. 50 Hz, duration of current flow max. 25 ms



Key

- 1 large surface areas of contact, electrodes type A (order of magnitude 10 000 mm²), according to Table 1
- 2 middle sized surface areas of contact, electrodes type B (order of magnitude 1000 mm²), according to Table 5
- 3 small surface areas of contact, electrodes type C (order of magnitude 100 mm²), according to Table 8

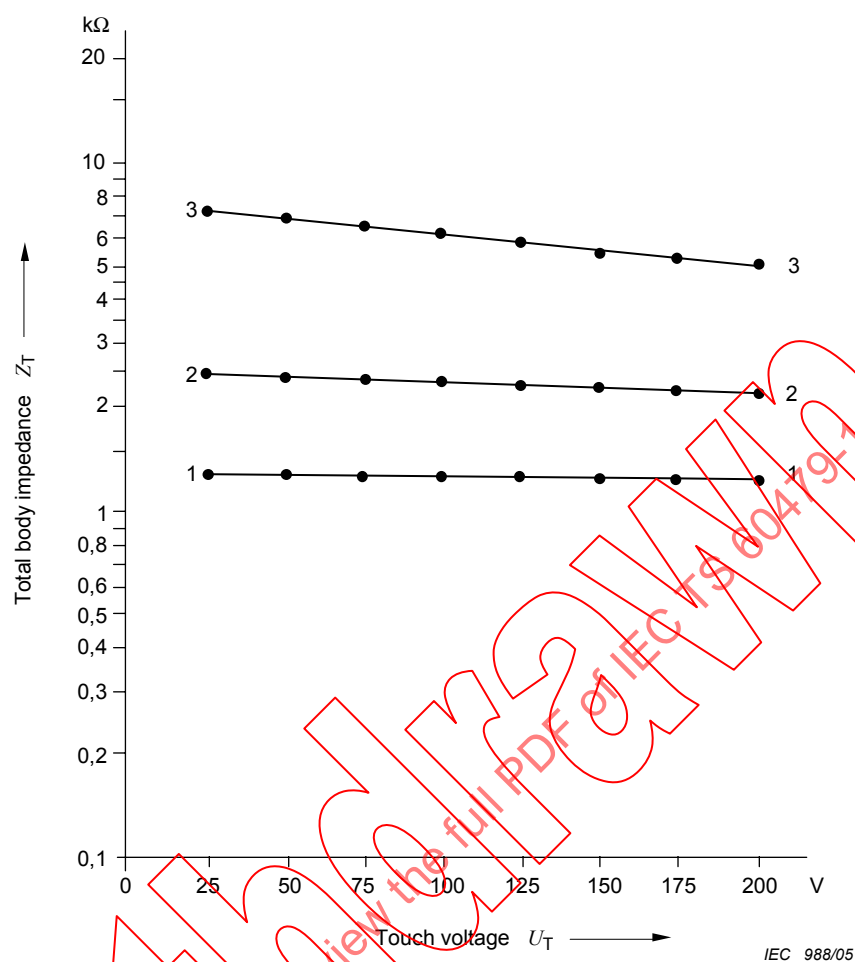
Figure 7 – Dependence of the total body impedance Z_T for the 50th percentile rank of a population of living human beings for large, medium and small surface areas of contact (order of magnitude 10 000 mm², 1 000 mm² and 100 mm² respectively) in dry conditions at touch voltages U_T = 25 V to 200 V a.c. 50/60 Hz



Key

- 1 large surface areas of contact, electrodes type A (order of magnitude 10 000 mm²), according to Table 2
- 2 middle sized surface areas of contact, electrodes type B (order of magnitude 1 000 mm²), according to Table 6
- 3 small surface areas of contact, electrodes type C (order of magnitude 100 mm²), according to Table 9

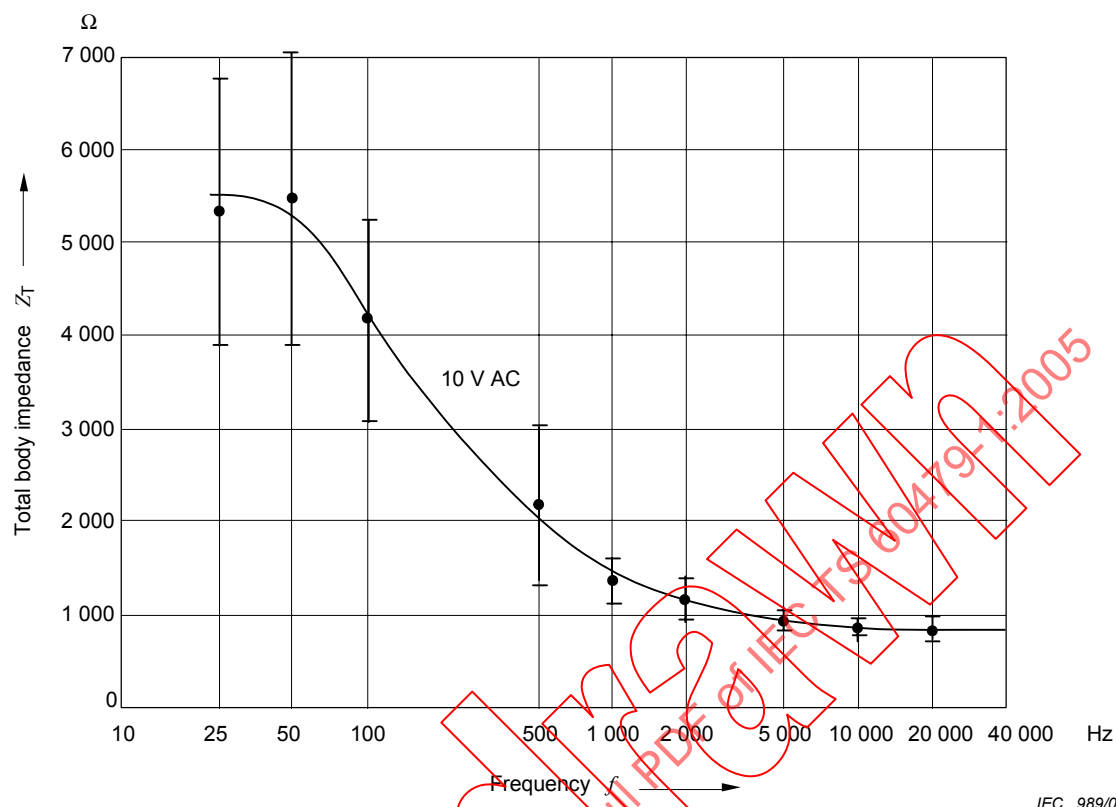
Figure 8 – Dependence of the total body impedance Z_T for the 50th percentile rank of a population of living human beings for large, medium and small surface areas of contact (order of magnitude 10 000 mm² 1 000 mm² and 100 mm² respectively) in water-wet conditions at touch voltages $U_T = 25$ V to 200 V, a.c. 50/60 Hz



Key

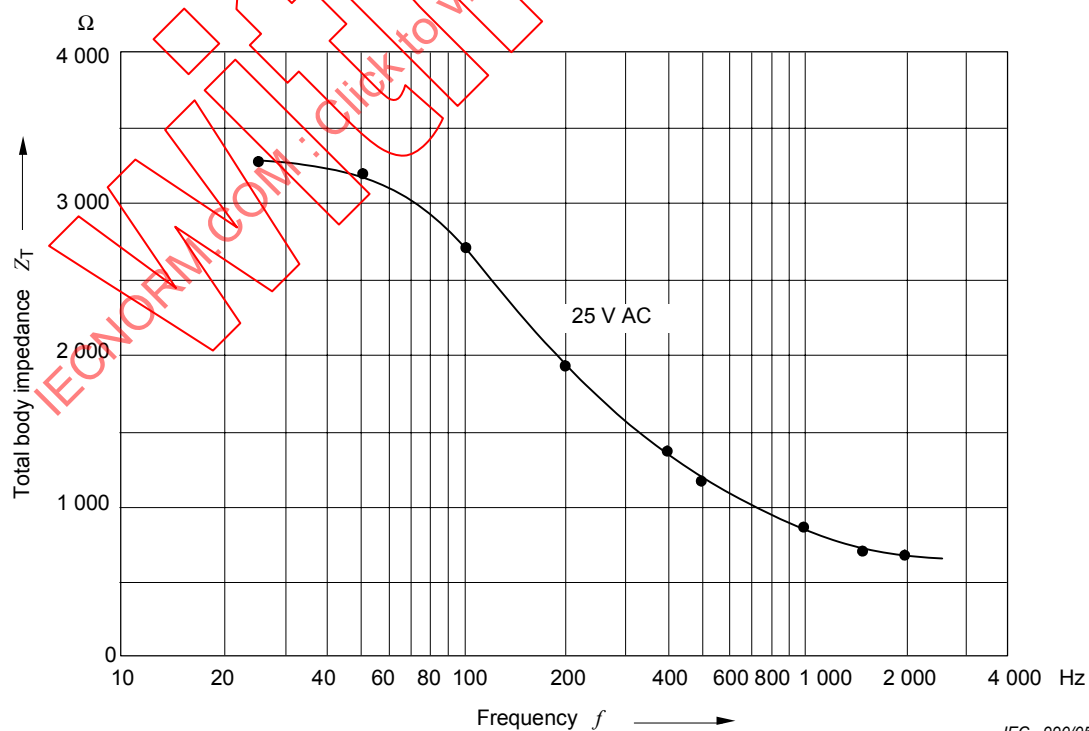
- 1 large surface areas of contact, electrodes type A (order of magnitude 10 000 mm²), according to Table 3
- 2 middle sized surface areas of contact, electrodes type B (order of magnitude 1 000 mm²), according to Table 7
- 3 small surface areas of contact, electrodes type C (order of magnitude 100 mm²), according to Table 10

Figure 9 – Dependence of the total body impedance Z_T for the 50th percentile rank of a population of living human beings for large, medium and small surface areas of contact (order of magnitude 10 000 mm², 1 000 mm² and 100 mm² respectively) in saltwater-wet conditions at touch voltages U_T = 25 V to 200 V, a.c. 50/60 Hz



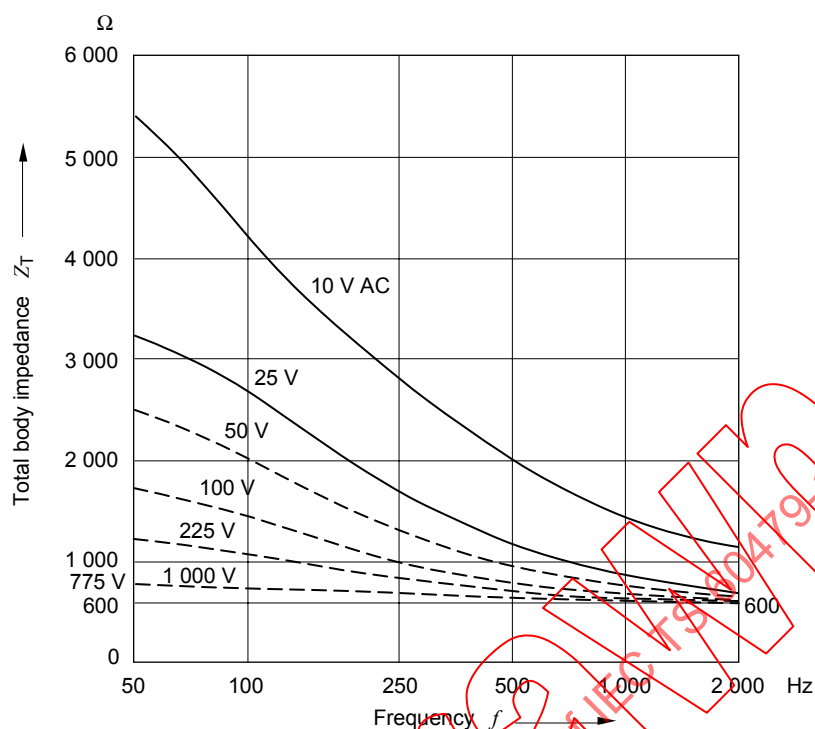
IEC 989/05

Figure 10 – Values for the total body impedance Z_T measured on 10 living human beings with a current path hand to hand and large surface areas of contact in dry conditions at a touch voltage of 10 V and frequencies from 25 Hz to 20 kHz



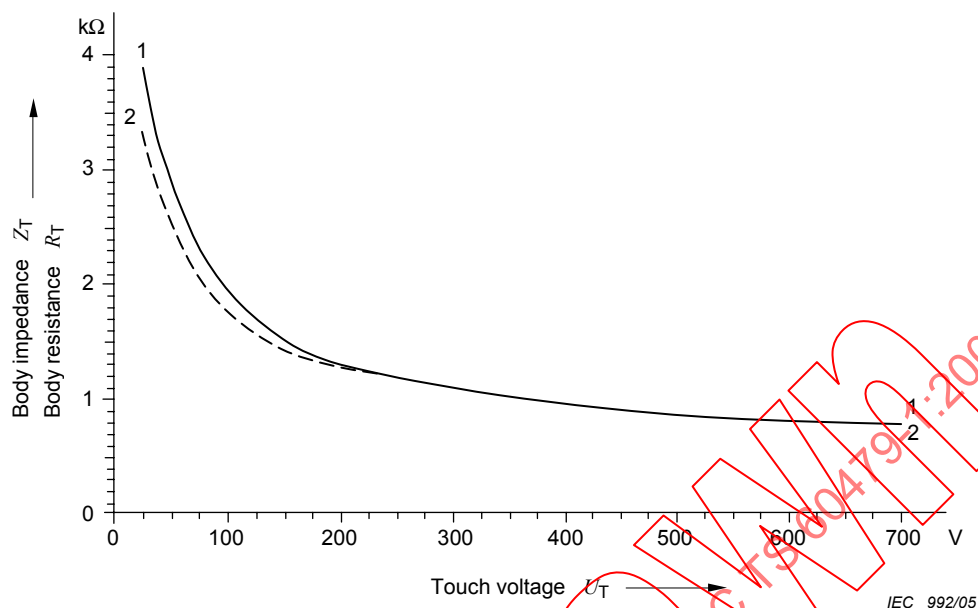
IEC 990/05

Figure 11 – Values for the total body impedance Z_T measured on one living human being with a current path hand to hand and large surface areas of contact in dry conditions at a touch voltage of 25 V and frequencies from 25 Hz to 2 kHz



IEC 991/05

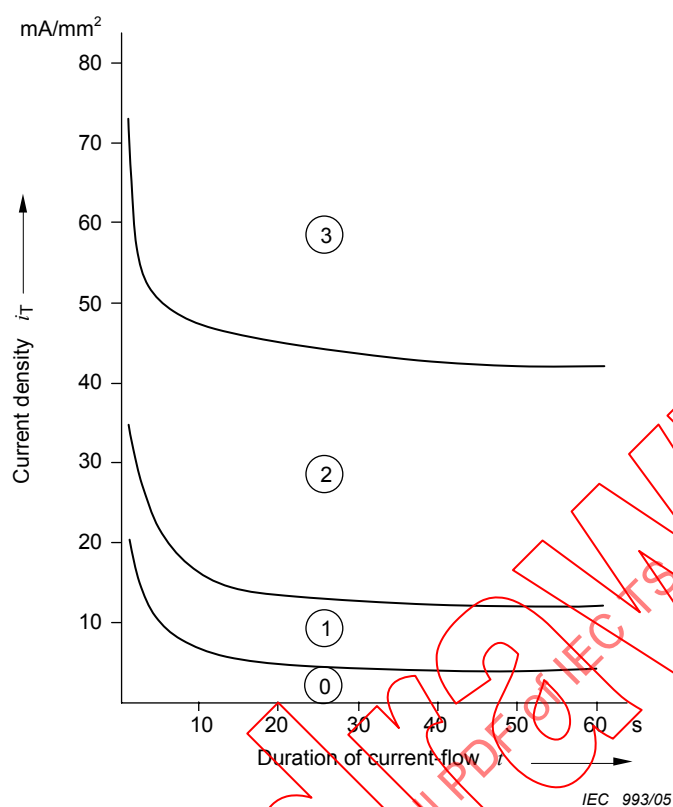
Figure 12 – Frequency dependence of the total body impedance Z_T of a population for a percentile rank of 50 % for touch voltages from 10 V to 1 000 V and a frequency range from 50 Hz to 2 kHz for a current path hand to hand or hand to foot, large surface areas of contact in dry conditions



Key

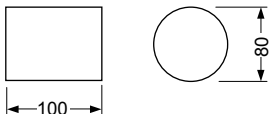
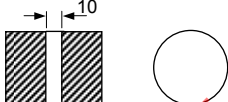
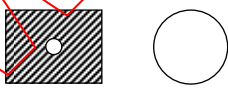
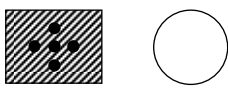
- 1 body resistance R_T for d.c.
- 2 body impedance Z_T for a.c. 50 Hz

Figure 13 – Statistical value of total body impedances Z_T and body resistances R_T for a percentile rank of 50 % of a population of living human beings for the current path hand to hand, large surface areas of contact, dry conditions, for touch voltages up to 700 V, for a.c. 50/60 Hz and d.c.

**Key**

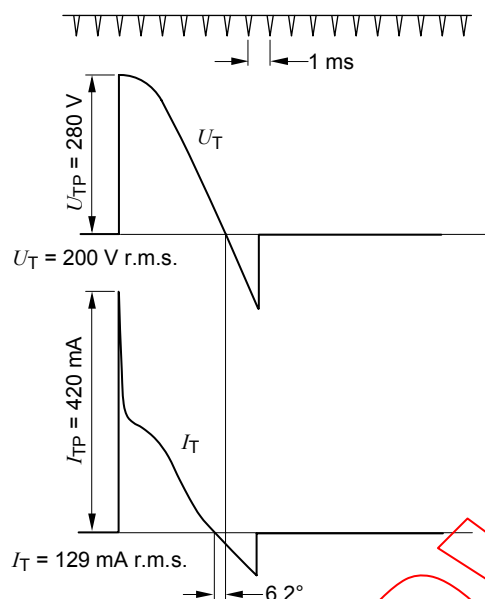
- Zone 3 = carbonization of skin
- Zone 2 = current marks
- Zone 1 = reddening of skin
- Zone 0 = no effects

Figure 14 – Dependence of the alteration of human skin condition on current density i_T and duration of current flow (for detailed description of zones, see 5.7)

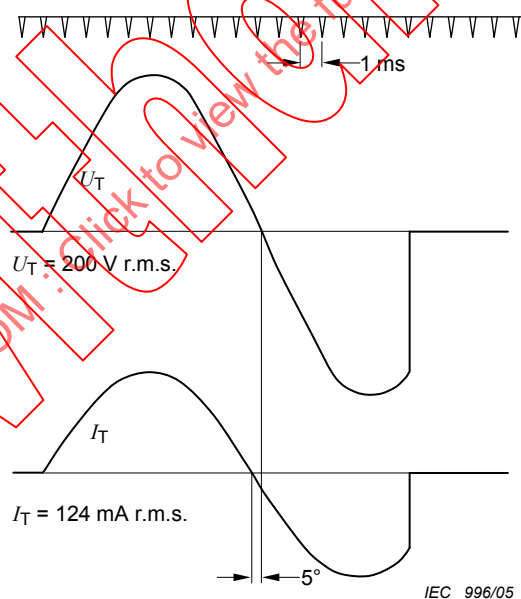
Electrodes type	Shape of contact area	Contact area size area effective (mm ²) Order of magnitude (mm ²)	Drawings mm
A	Brass cylinder	Large 8 200 10 000	
B	Form of a ring by appropriate covering with insulating tape	Medium 1 250 1 000	
C	Square formed by appropriate covering with insulated tape	Small 100 100	
D	Cylinder of insulating material with circular electrode	10	
E	Cylinder of insulating material with circular electrodes 1), 2)	1	
1) For this type, four further circular electrodes of 1 mm² area were used situated crosswise at a distance of 30 mm from the electrode at the centre of the surface of the cylinder in order to measure the deviations for these points inside the palm of the hand. 2) The results of the measurements with this type of electrodes showed little reproducibility.			

IEC 994/05

Figure 15 – Electrodes used for the measurement of the dependence of the impedance of the human body Z_T on the surface area of contact

A

$U_T = 200$ V a.c. (r.m.s. value), duration of current flow 6,5 ms, I_T (r.m.s.) = 129 mA, peak value of touch current $I_{TP} = 420$ mA, total body impedance $Z_T = 1\,550\ \Omega$, initial body resistance $R_0 = 666\ \Omega$, strong and painful sensation and involuntary muscular reaction in arms, shoulders and legs. Though the current path was hand to hand, the body was lifted up, which means that the muscles of the legs have been activated.

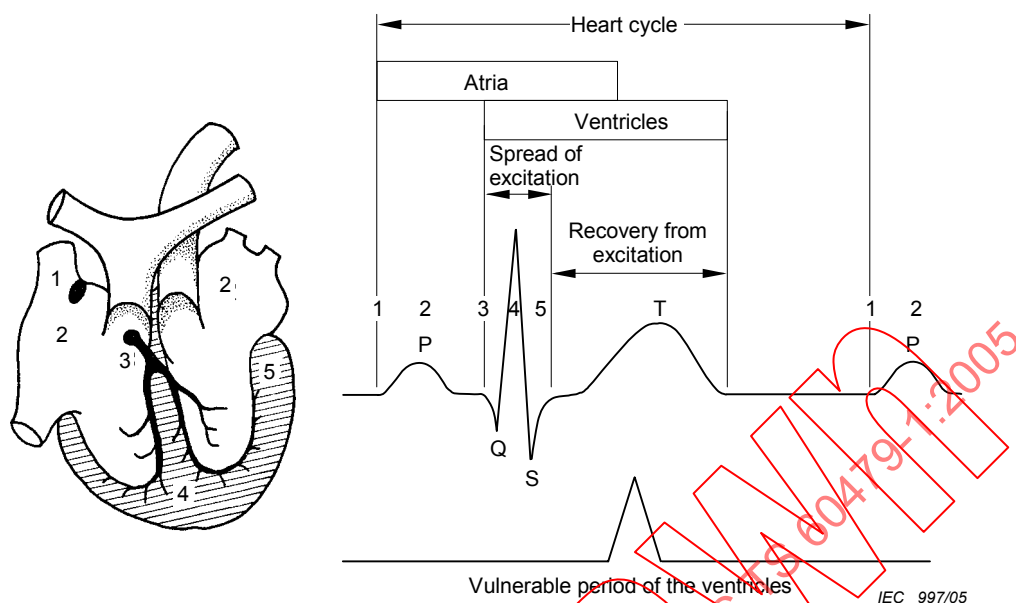
B

$U_T = 200$ V a.c. (r.m.s. value), duration of current flow 16,5 ms, I_T (r.m.s.) = 124 mA, no spike in the current oscillogram, total body impedance $Z_T = 1\,613\ \Omega$, physiological effects as mentioned under a).

Key

- A** contact made at the peak of touch voltage
- B** contact made at zero crossing of touch voltage

Figure 16 – Oscillograms of touch voltages U_T and touch currents I_T for a.c., current path hand to hand, large surface areas of contact in dry conditions taken from measurements



NOTE The numbers designate the subsequent stages of propagation of the excitation.

Figure 17 – Occurrence of the vulnerable period of ventricles during the cardiac cycle

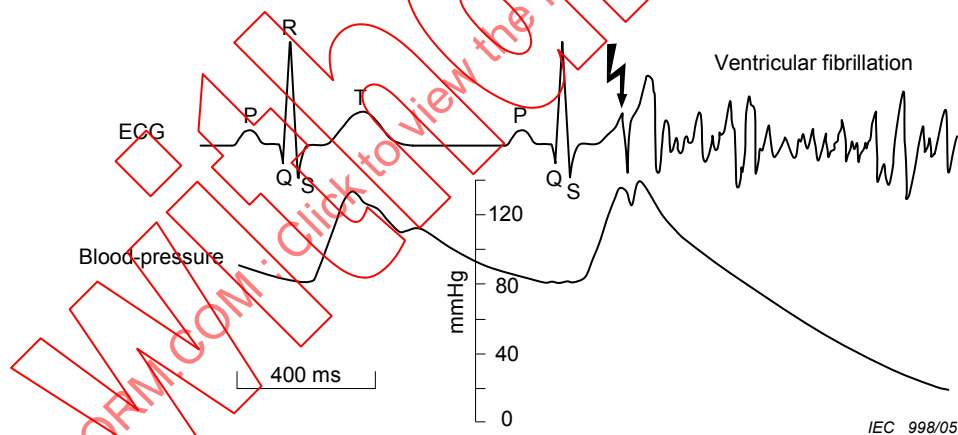
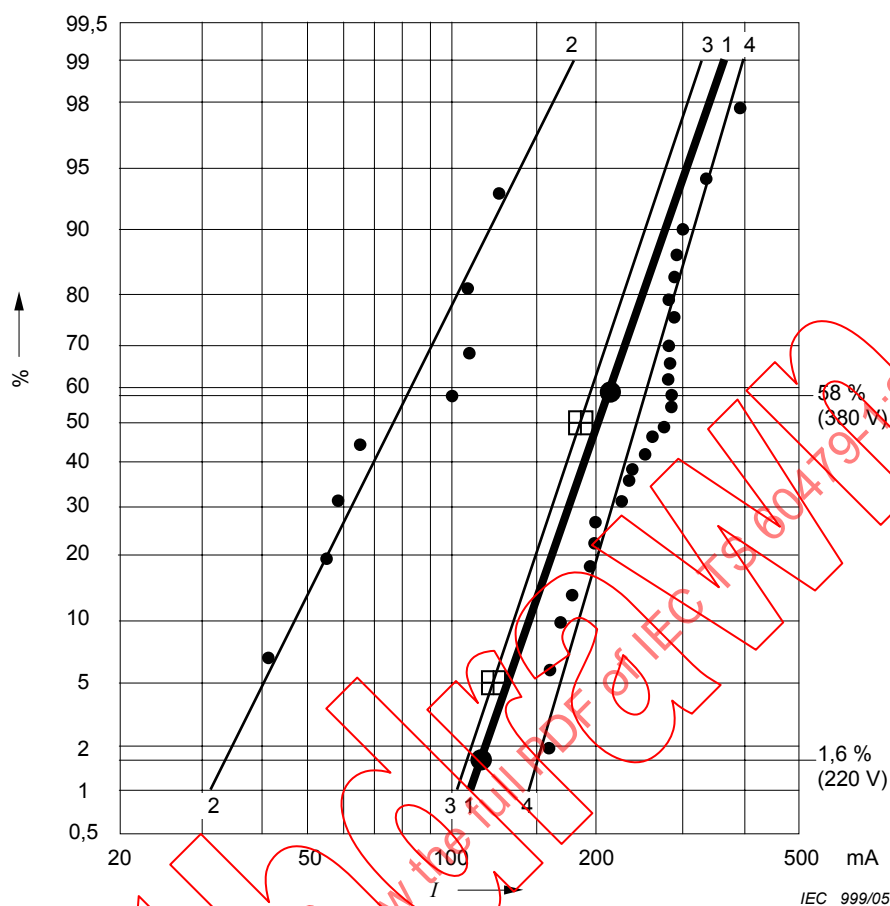


Figure 18 – Triggering of ventricular fibrillation in the vulnerable period – Effects on electro-cardiogram (ECG) and blood pressure



Key

- 1 fibrillation data for persons calculated from statistics of accidents ($U_T = 220 \text{ V}$, 1,6 %, $U_T = 380 \text{ V}$, 58 %)
- 2 fibrillation data for dogs, duration of current flow 5 s
- 3 fibrillation data for pigs, duration of current flow $t > 1,5 \cdot \text{heart-period}$
- 4 fibrillation data for sheep, duration of current flow 3 s
- ⊙ calculated values based on statistics of accidents ($U_T = 220 \text{ V}$, 1,6 % and $U_T = 380 \text{ V}$, 58 %, $I_T = 110 \text{ mA}$ and 220 mA respectively) (1)
- ⊕ statistical values of measurements with pigs ($I(5\%) = 120 \text{ mA}$, $I(50\%) = 180 \text{ mA}$)
- (1) values corrected with the heart-current factor $F = 0,4$

Figure 19 – Fibrillation data for dogs, pigs and sheep from experiments and for persons calculated from statistics of electrical accidents with transversal direction of current flow hand to hand and touch voltages $U_T = 220 \text{ V}$ and 380 V a.c. with body impedances $Z_T(5\%)$

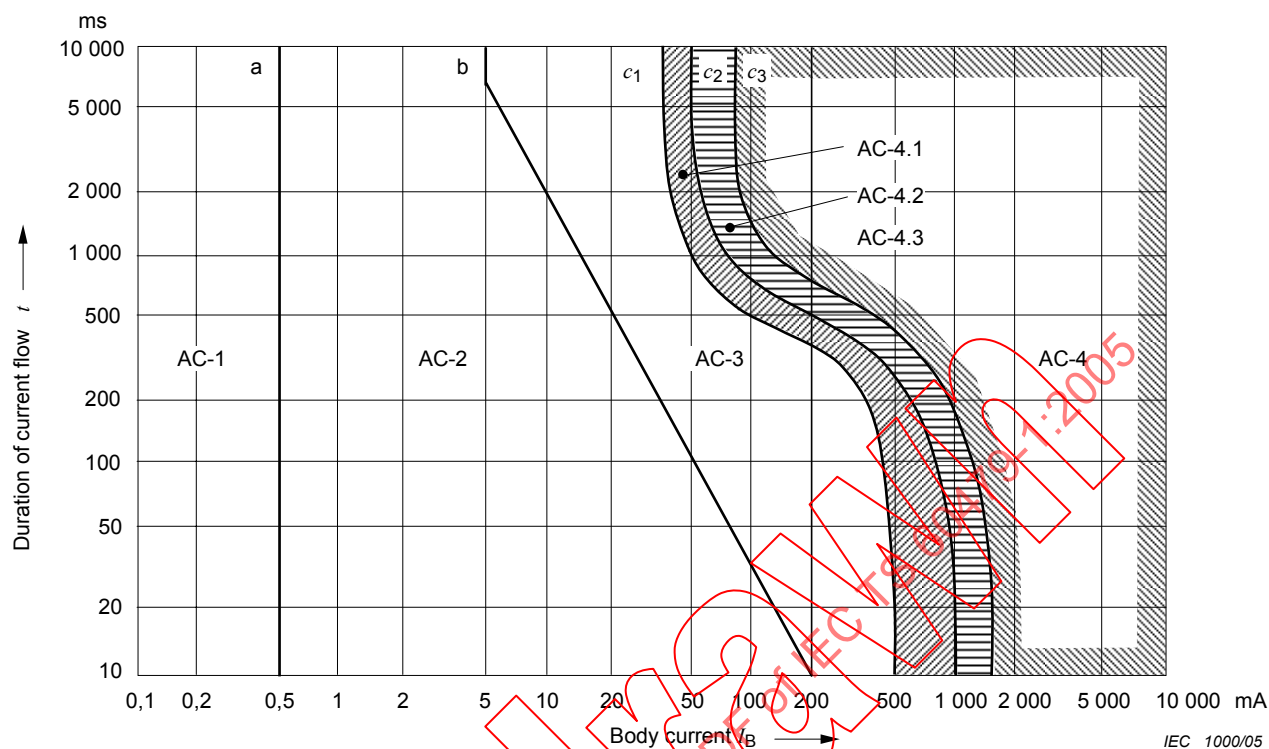
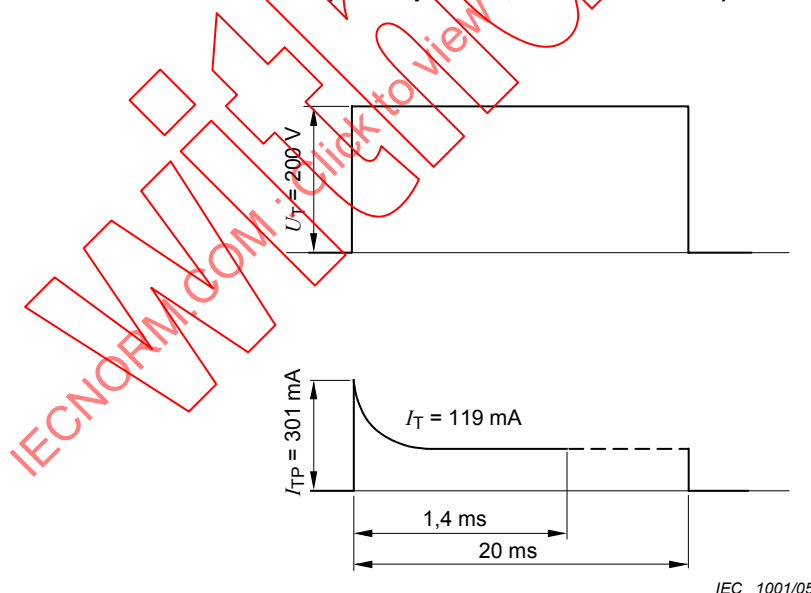


Figure 20 – Conventional time/current zones of effects of a.c. currents (15 Hz to 100 Hz) on persons for a current path corresponding to left hand to feet (for explanation see Table 11)



$U_T = 200$ V d.c., duration of current flow 20 ms, touch current $I_T = 119$ mA, peak value of touch current $I_{TP} = 301$ mA, total body resistance $R_T = 1\,681\ \Omega$, initial body resistance $R_0 = 664\ \Omega$, strong, burning sensation and involuntary jerk-like muscular reaction in arms and shoulders.

Figure 21 – Oscillogram of touch voltages U_T and touch current I_T for d.c., current path hand to hand, large surface areas of contact in dry conditions

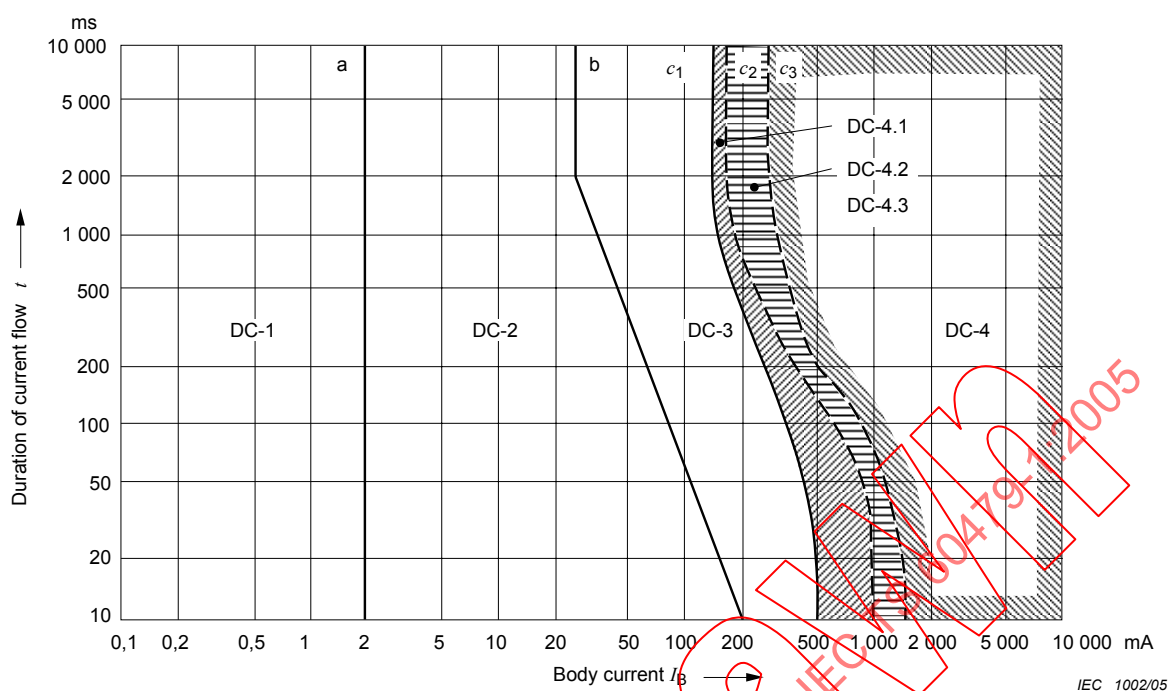


Figure 22 – Conventional time/current zones of effects of d.c. currents on persons for a longitudinal upward current path (for explanation see Table 13)

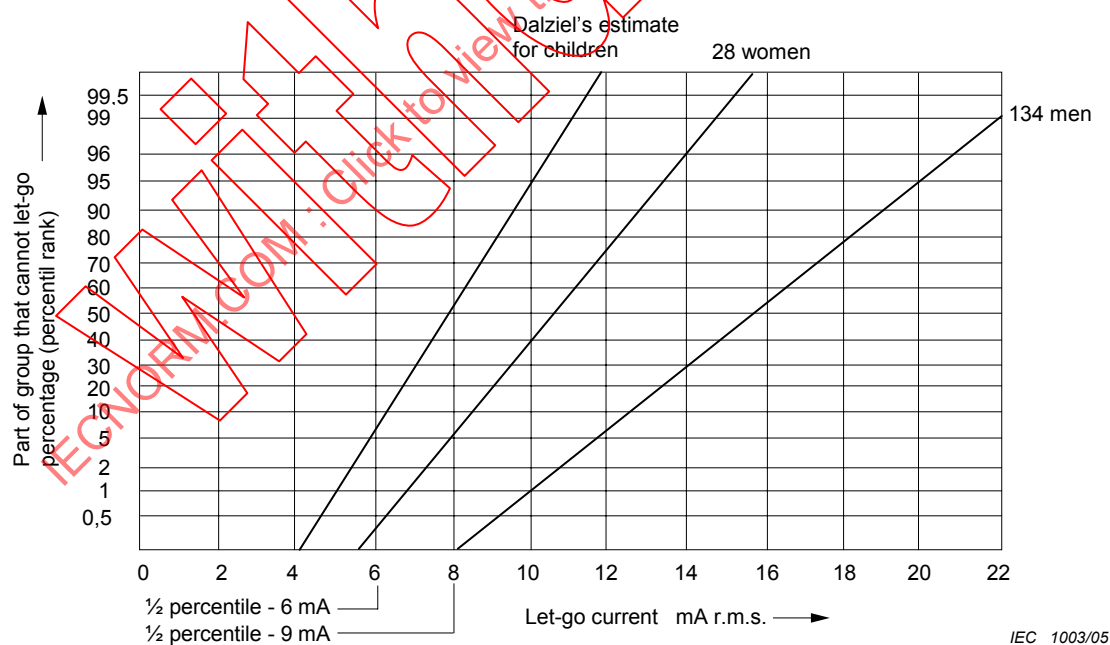


Figure 23 – Let-go currents for 60 Hz sinusoidal current

Annexes

INTRODUCTION

Clause 2 of IEC 60479-1 (third edition 1994) on the impedance of the human body contained little information on the dependence of the impedance on the surface area of contact and then only for dry conditions.

Therefore measurements were carried out on 10 living persons using medium and small surface areas of contact in dry, water-wet and saltwater-wet conditions, current path hand to hand, at a touch voltage of 25 V a.c. 50 Hz. The impedance values for a percentile rank of 5 %, 50 % and 95 % have been calculated from these measurements.

Due to unpleasant sensations and the possibility of inherent danger, measurements using large surface areas of contact (order of magnitude 10 000 mm²) in dry, water-wet and saltwater-wet conditions and with medium and small surface areas of contact (order of magnitude 1 000 mm² and 100 mm²) in dry condition at touch voltages from 25 V up to and including 200 V a.c. have only been carried out on one adult. By the use of deviation factors it was nevertheless possible to derive values of the total body impedance Z_T for a percentile rank of 5 %, 50 % and 95 % of a population of living human beings. With the same one adult, measurements were also made with still smaller surface areas of contact (10 mm² and 1 mm²) and between fingertips.

For the calculation of total body impedances Z_T for a percentile rank of 5 %, 50 % and 95 % of a population of living human beings for large surface areas of contact for touch voltages above 200 V up to 700 V and higher up to the asymptotic values the adaptation method used for the second edition of IEC 60479-1 was improved by taking account of the different temperatures of the corpses during measurements and the temperature of 37°C for living human beings.

Furthermore in Clause 3 a heart current factor I for the current path foot to foot has been introduced. This is important for electrical risks caused by step voltages.

Annex A (normative)

Measurements of the total body impedances Z_T made on living human beings and on corpses and the statistical analysis of the results

In order to obtain realistic values for total body impedances Z_T of living human beings, the following procedure was applied:

- 1) The measurements made on living human beings used a current path hand to hand with electrodes shown in Figure 15.
- 2) Measurement of the total body impedance have been made on 100 living persons at 25 V a.c. 50 Hz with large surface areas of contact (electrodes type A in Figure 15) in dry condition. The measurements were made 0,1 s after applying the voltage. The values for total body impedances for a percentile rank of 5 %, 50 % and 95 % were determined with the following results.

Table A.1 – Total body impedances Z_T , electrodes type A for dry condition and deviation factors F_D (5 % and 95 %)

Condition	Total body impedances Z_T (Ω) / deviation factors F_D		
	5 %	50 %	95 %
Dry	1 750 / 0,54	3 250	6 100 / 1,88

- 3) Measurement of the total body impedance have been made on 10 living persons with medium and small surface areas of contact (electrodes type B and C in Figure 15) in dry, water-wet and saltwater-wet conditions, duration of current flow max. 25 ms. The results are shown in Tables A.2 and A.3.

a) Electrodes type B (order of magnitude 1 000 mm²)

Table A.2 – Total body impedances Z_T , electrodes type B for dry, water-wet and saltwater-wet conditions and deviation factors F_D (5 % and 95 %)

Condition	Total body impedances Z_T (Ω) / deviation factors F_D		
	5 %	50 %	95 %
Dry	12 900 / 0,63	20 600	32 800 / 1,59
Water-wet	5 500 / 0,59	9 350	15 900 / 1,70
Saltwater-wet	1 850 / 0,76	2 425	3 175 / 1,31

b) Electrodes type C (order of magnitude 100 mm²)

Table A.3 – Total body impedances Z_T for dry, water-wet and saltwater-wet conditions and deviation factors F_D (5 % and 95 %)

Condition	Total body impedances Z_T (Ω) / deviation factors F_D		
	5 %	50 %	95 %
Dry	80 400 / 0,48	169 000	355 500 / 2,10
Water-wet	39 700 / 0,54	73 400	135 600 / 1,85
Saltwater-wet	5 400 / 0,74	7 300	9 875 / 1,35

In a first approximation for the calculation of Z_T (5 % and 95 %) from the values of Z_T (50 %) for dry and water-wet conditions at $U_T = 25$ V, the deviation factors

$$F_D (5 \%) = 0,54 \text{ and } F_D (95 \%) = 1,88$$

and for saltwater-wet condition

$$F_D (5 \%) = 0,74 \text{ and } F_D (95 \%) = 1,35$$

were chosen. They are assumed to be independent of the surface area of contact.

- 4) The total body impedance Z_T of one living person was measured under the conditions of item 1, 2 and 3 above with touch voltages up to 150 V and, in addition, with shock durations up to 0,03 s for touch voltages up to 200 V.

The following conditions for the current path and durations of current flow have been used:

Test series A: Effective contact area 8 250 mm², electrodes grasped with both hands, duration of current flow 0,1 s (Figure 15, electrodes type A).

Test series B: Effective contact area 1 250 mm², electrodes grasped with both hands, duration of current flow several seconds up to 75 V, 0,1 s above 75 V (Figure 15, electrodes type B).

Test series C: Effective contact area 100 mm², electrodes pressed against the middle of the palms, duration of current flow several seconds up to 75 V, 0,1 s above 75 V (Figure 15, electrodes type C).

Test series D: Effective contact area 10 mm², electrodes pressed against the middle of the palms, duration of current flow several seconds up to 100 V, 0,1 s up to 0,3 s above 100 V (Figure 15, electrodes type D).

Test series E: Effective contact area 1 mm², electrodes pressed against the middle of the palms, duration of current flow several seconds up to 150 V, 0,1 s up to 0,2 s above 150 V (at 220 V breakdown of the skin was observed) (Figure 15, electrodes type E).

- 5) The total body impedance was measured for a touch voltage range of 25 V to 200 V, a.c. 50 Hz between the tips of the right and left forefingers (surface area of contact approximately 250 mm²). The measurements were made 20 ms after applying the voltage. The voltage was applied at zero crossing of the touch voltage.

The results are shown in Figure 6.

- 6) Measurements were made by Freiburger [1]¹ on a large number of corpses for current paths hand to hand and hand to foot with large electrodes (approximately 9 000 mm²) for touch voltages of 25 V to 5 000 V in dry condition. The values for the total body impedances for a percentile rank of 5 %, 50 % and 95 % were determined.

The measurements were made 3 s after applying the voltage.

- 7) The total body impedances for large surface areas of contact measured with corpses (item 6) above) which for touch voltages up to 220 V showed excessively high skin impedances were modified by adjusting the curves to the values measured on living persons.

For this adjustment, the change of body impedances caused by the change of temperature of corpses to 37 °C of living persons was taken into account by a temperature reduction factor $F_T = 0,7$.

- 8) For medium and small surface areas of contact the total body impedances Z_T (50 %) for 50 % percentile rank of a population of living human beings could be established with the values found by the measurements described under items 1) to 4) for dry, water-wet and saltwater-wet conditions for touch voltages $U_T = 25$ V to 200 V.
- 9) For large, medium and small surface areas of contact in dry, water-wet and saltwater-wet conditions all values for 5 % and 95 % percentile rank of a population of living human beings could be calculated by applying the deviation factors F_D (5 %) and F_D (95 %) to the values of Z_T (50 %).

These deviation factors were calculated for touch voltages up to 400 V from the values F_D (5 %) = 0,54 and F_D (95 %) = 1,88 at $U_T = 25$ V for dry and water-wet conditions changing with the impedance of the skin up to 400 V to the values for saltwater-wet condition F_D (5 %) = 0,74 and F_D (95 %) = 1,35 due to the fact that for saltwater-wet condition the impedance of the skin is assumed as negligible. These values of F_D are shown in Table A.4.

Table A.4 – Deviation factors F_D (5 %) and F_D (95 %) for dry and water-wet conditions in the touch voltage range $U_T = 25$ V up to 400 V for large, medium and small surface areas of contact

U_T V	25	50	75	100	125	150	175	200	300	400
F_D (5 %)	0,54	0,55	0,565	0,575	0,585	0,6	0,615	0,625	0,68	0,74
F_D (95 %)	1,88	1,84	1,8	1,76	1,72	1,685	1,65	1,6	1,48	1,35

For saltwater-wet condition the deviation factors are independent of the touch voltage F_D (5 %) = 0,74 and F_D (95 %) = 1,35.

By this method the total body impedances Z_T have been calculated for dry, water-wet and saltwater-wet conditions for large, medium and small surface areas of contact for the 5th, 50th and 95th percentile rank of a population of living human beings shown in Tables 1 to 3 and 4 to 9.

¹ Figures in square brackets refer to the bibliography.

Annex B (normative)

Influence of frequency on the total body impedance (Z_T)

In order to obtain realistic values for the influence of frequency on the total impedance Z_T of living human beings, the following procedure was applied:

- 1) Measurements were made on 10 living human beings at a touch voltage of 10 V for frequencies from 25 Hz to 20 kHz with a current path hand to hand with large cylinder electrodes (approximately 8 000 mm²) in dry conditions.
The values for the total body impedances for a percentile rank of 5 %, 50 % and 95 % were determined by statistical methods.
- 2) Due to strong muscular effects measurements were made only on one living human being at a touch voltage of 25 V for frequencies from 25 Hz to 2 kHz under the conditions described in item 1) above.
The measurements of item 1) and item 2) were made 0,05 s after applying the voltage.
The results of these measurements are shown in Figures 10 and 11.
- 3) For a percentile rank of 50 %, Figure 10 for a touch voltage of 10 V, and the values of Table 1 for 50 Hz and touch voltages from 25 V to 1 000 V were used for Figure 12. This figure shows the dependence of the total body impedance on the frequency for a range from 50 Hz to 2 kHz for a percentile rank of 50 % of a population for touch voltages from 10 V to 1 000 V a.c. with a straight line between the asymptotic values of 750 Ω at 50 Hz and 600 Ω at 2 kHz.

The curves for touch voltages of 50 V to 1 000 V (dashed lines in Figure 12) have been drawn in analogy to the curves for 10 V and 25 V which are based on the measurements described under item 1) and 2), above.

Annex C (normative)

Total body resistance (R_T) for direct current

In order to obtain realistic values for the total body resistance R_T of living human beings, the following procedure was applied:

- 1) Measurements were made on 50 living persons at a touch voltage of 25 V pure d.c. with a current path hand to hand with large cylinder electrodes (approximately 8 000 mm²) in dry condition.

The values for the total body resistance R_T for a percentile rank of 5 %, 50 % and 95 % were determined by statistical methods.

- 2) The values for the total body impedances for a.c. 50 Hz, at touch voltages above 200 V according to Table 1 were used for the total body resistance R_T for d.c. for touch voltages between 200 V and 1 000 V d.c. and the asymptotic values.

The values of the total body resistance R_T for touch voltages between 25 V and 200 V have been derived from Figure 13 drawn similar as for a.c. 50 Hz.

The values for the total body resistance R_T for direct current determined by the method described above are given in Table 10.

NOTE Above 200 V, the differences between the skin impedance for a.c. 50 Hz and the skin resistance for d.c. are assumed to be negligible.

Annex D (informative)

Examples of calculations of Z_T

Calculations of touch currents I_T are important to evaluate measures of protection against electric shock and for investigation of electrical accidents.

The touch current I_T is calculated by:

$$I_T = \frac{U_T}{Z_T}$$

where

U_T is the touch voltage;

Z_T is the total impedance of the human body for given current path, surface area and condition of contact.

The following calculations are based on the relevant tables of this specification and are carried out for the 50th percentile rank (50 % of the population). The 50th percentile rank was taken because its values are statistically most reliable.

The calculations are carried out for four examples:

- 1) touch voltages 100 V and 200 V, dry surface areas of contact, current path hands to feet, surface areas of contact for hands medium (order of magnitude 1 000 mm², Table 4), for feet large (Table 1);
- 2) touch voltages 100 V and 200 V, dry surface areas of contact, current path hand-hand, surface areas of contact small (order of magnitude 100 mm², Table 7);
- 3) touch voltage 25 V, saltwater-wet surface areas of contact, current path both hands to the trunk of the body, surface areas of contact: large for hands (order of magnitude 10,000 mm², Table 3) and very large for the trunk of the body (skin impedance negligible). This current path simulates a person sitting on the ground and holding a faulty equipment of Class III (SELV) with both hands.

In the calculations the values are rounded to 5 Ω.

- 4) At a touch voltage of at least 1 000 V, the area of contact, condition of contact and nature of voltage make no material difference to the body resistance values. The current path chosen simulates a person sitting on the ground touching a high voltage conductor with the head.

Example 1:

Touch voltages 100 V and 200 V, a.c. 50/60 Hz, current path hands to feet, dry condition, surface areas of contact for hands medium, surface areas of feet large

The following designations are used:

Z_{TA} (H-H) total body impedance, large surface areas of contact, hand to hand

Z_{TA} (H-F) total body impedance, large surface areas of contact, hand to foot

Z_{TA} (H-T) total body impedance, large surface areas of contact, hand to trunk

$$Z_{TA} \text{ (H-T)} = Z_{TA} \text{ (H-H)}/2$$

Z_{TA} (T-F) total body impedance, large surface areas of contact, trunk to foot

$$Z_{TA} \text{ (T-F)} = Z_{TA} \text{ (H-F)} - Z_{TA} \text{ (H-T)}$$

Z_{TB} (H-H) total body impedance, middle sized surface areas of contact, hand to hand

The Z_T values Z_{TA} (H-H) for large surface areas of contact are given in Table 1, the values for medium surface areas of contact Z_{TB} (H-H) are given in Table 4.

The calculation for the 50th percentile rank is then carried out as follows:

$$Z_{TA} \text{ (H-H)} = 1\,725\ \Omega \text{ (100 V)} \text{ and } 1\,275\ \Omega \text{ (200 V)}$$

For the current path hand-foot with the factor 0,8

NOTE Some measurements suggest a 10 % to 30 % reduction of the hand to hand body impedance in order to calculate the hand to foot body impedance. Taking an average of 20 % gives the factor 0,8.

$$Z_{TA} \text{ (H-F)} = 1\,380\ \Omega \text{ (100 V)} \text{ and } 1\,020\ \Omega \text{ (200 V)}$$

$$Z_{TA} \text{ (H-T)} \text{ results with } Z_{TA} \text{ (H-T)} = Z_{TA} \text{ (H-H)}/2$$

$$Z_{TA} \text{ (H-T)} = 860\ \Omega \text{ (100 V)} \text{ and } 635\ \Omega \text{ (200 V)}$$

$$\text{hence with } Z_{TA} \text{ (T-F)} = Z_{TA} \text{ (H-F)} - Z_{TA} \text{ (H-T)}$$

$$Z_{TA} \text{ (T-F)} = 520\ \Omega \text{ (100 V)} \text{ and } 385\ \Omega \text{ (200 V)}$$

For medium surface areas of contact (approx. 1 000 mm²) follows from Table 4:

$$Z_{TB} \text{ (H-H)} = 5\,200\ \Omega \text{ (100 V)} \text{ and } 2\,200\ \Omega \text{ (200 V)}$$

$$\text{hence with } Z_{TB} \text{ (H-T)} = Z_{TB} \text{ (H-H)}/2$$

$$Z_{TB} \text{ (H-T)} = 2\,600\ \Omega \text{ (100 V)} \text{ and } 1\,100\ \Omega \text{ (200 V)}$$

$$\text{The total body impedance } Z_T' = Z_{TA} \text{ (T-F)} + Z_{TB} \text{ (H-T)}$$

$$Z_T' = 3\,120\ \Omega \text{ (100 V)} \text{ and } 1\,485\ \Omega \text{ (200 V)}$$

$$\text{and with hands and feet in parallel } Z_T = Z_T'/2$$

$$Z_T = 1\,560\ \Omega \text{ (100 V)} \text{ and } 740\ \Omega \text{ (200 V)}$$

leading to the touch currents I_T

$$I_T = 65\ \text{mA} \text{ (100 V)} \text{ and } 270\ \text{mA} \text{ (200 V)}$$

A summary of the results of the calculations is given in Table D.1.

Table D.1 – 50th percentile values for the total body impedance for a current path hands-feet medium surface area of contact for hands, large for feet, reduction factor 0,8, dry conditions, touch currents I_T and electrophysiological effects

Touch voltage V	Impedance hand-trunk $Z_{TB} (H-T)$ Ω	Impedance trunk-foot $Z_{TA} (T-F)$ Ω	Impedance hands-feet Z_T Ω	Touch Current I_T mA	Electro-physiological effects for a duration of current flow $t = 10 \text{ ms to } 30 \text{ ms}$
100	2 600	520	1 560	65	Short jerk-like sensation
200	1 100	385	740	270	Heavy electric shock, lifting of the body, cramp in the arms

Attention is drawn to the fact that at $U_T = 200 \text{ V}$ the touch current I_T is four times as high as for 100 V. If the duration of current flow is longer than approximately 0,2 s, ventricular fibrillation would occur with a high probability.

Example 2:

Touch voltages 100 V and 200 V, a.c. 50/60 Hz, current path hand to hand, dry condition, surface areas of contact small (electrodes type C, Table 7)

The calculation is simple. The total body impedance for small surface areas of contact in dry condition according to Table 7 is shown with $Z_{TC} (H-H) = 40 \text{ k}\Omega$ for $U_T = 100 \text{ V}$ and 5,4 k Ω for $U_T = 200 \text{ V}$.

This results in touch currents of $I_T = 2,5 \text{ mA}$ for $U_T = 100 \text{ V}$ and $I_T = 37 \text{ mA}$ for $U_T = 200 \text{ V}$ the latter value still being under the threshold of ventricular fibrillation. For longer durations of current flow (some seconds) after the breakdown of skin impedances (Z_T approximately 1 000 Ω), I_T would certainly surpass 0,1 A causing a fatal electrical accident.

Example 3:

Touch voltage 25 V, a.c. 50/60 Hz, current path both hands in parallel to the trunk of the body, saltwater-wet condition, surface areas of contact large (electrodes type A, Table 3) for very large hand and surface areas of trunk of the body (skin impedance negligible)

Here also the calculation is simple. The total body impedance $Z_T (H-H)$ is given in Table 3 for the 50th percentile rank as 1 300 Ω .

Hence with $Z_{TA} (H-T) = Z_{TA} (H-H)/2 = 650 \text{ }\Omega$.

For hands in parallel to the trunk of the body

$$Z_T = Z_{TA} (H-T)/2 = 325 \text{ }\Omega$$

resulting in a touch current $I_T = 77 \text{ mA}$.

In spite of the use of safety extra low voltage (SELV) a shock with strong involuntary muscular reactions far above the threshold of let-go occurs.

Example 4:

The asymptotic impedance values associated with a hand to hand path for voltages of 1 000 V and above at the 5 %, 50 % and 95 % population levels are respectively 575 Ω , 775 Ω and 1 050 Ω . At this voltage, the skin impedance is negligible. In order to use Figure 2 to calculate the value of Z_T , the hand to hand results requires a 10 % to 30 % reduction as shown by the Note 1 in the tables. Taking an average value of 20 %, this gives a hand to foot value of 460 Ω , 620 Ω , 840 Ω , respectively.

Applying the factors given in Figure 2, the calculation of the total body impedance Z_T of a person sitting on the ground touching a high voltage conductor with the head is straightforward:

At the 5 % value $Z_T = 460 \Omega \times (0,10 + 0,013) = 52 \Omega$

At the 50 % value $Z_T = 70 \Omega$

At the 95 % value $Z_T = 95 \Omega$

In this example, the resultant touch current is of the order of tens of amperes and will increase at higher voltages.

Bibliography

- [1] Freiberger, H.: *"Der elektrische Widerstand des menschlichen Körpers gegen technischen Gleich- und Wechselstrom"*, Verlag Julius Springer, Berlin, (1934). Translated into English by Allen Translation Service, Maplewood, N.Y., U.S.A., No. 9005.
- [2] Biegelmeier, G.: *"Report on the electrical impedance of the human body and on the behaviour of residual current-operated earth-leakage circuit-breakers in case of direct contact for tensions up to 200 V a.c., 50 Hz"*, Transactions: Symposium on electrical shock safety criteria, Toronto, 1983. Pergamon Press, Toronto, (1984).
- [3] Biegelmeier, G.: *"Über den Einfluss der Haut auf die Körperimpedanz des Menschen"*, E.u.M., Vol.97 (1980) No. 9, p. 369-378
- [4] Sam, U.: *"Neue Erkenntnisse über die elektrische Gefährdung des Menschen bei Teildurchströmungen des Körpers"*, VDRI-Jahrbuch (1969), Nordwestl. Eisen- und Stahl- Berufsgenossenschaft, Hannover.
- [5] Osypka, P.: *"Messtechnische Untersuchungen über Stromstärke, Einwirkungsdauer und Stromweg bei elektrischen Wechselstromunfällen an Mensch und Tier, Bedeutung und Auswertung für Starkstromanlagen"*, Elektromedizin, Vol.8, (1963), Nr. 3 et/and 4.
- [6] Wagner, E.Ch.: *"Über die Diagnostik von Stromeintrittsstellen auf der menschlichen Haut"*. Dissertation Universität Erlangen, (1961). Bundesrepublik Deutschland/Federal Republic of Germany.
- [7] Biegelmeier, G., Mörx, H. and Bachl, H.: *"Neue Messungen des Körperwiderstandes des lebenden Menschen mit Wechselstrom 50 Hz, sowie mit höheren Frequenzen und mit Gleichstrom"* e&i, 108.Jg. (1991), H.3, p. 96-113.
- [8] Kieback, D.: *"Ergebnisse von Forschungsarbeiten und statistischen Untersuchungen des Institutes zur Erforschung elektrischer Unfälle"*, e&i, 106.Jg. (1989), H.1, p. 14-20.
- [9] Bachl, H., Biegelmeier, G. and Hirtler, R.: *"Körperimpedanzen des Menschen bei trockenen, wässrigen und salzigen Berührungsflächen verschiedener Größe"*; ESF-Report No. 2, Private non-profit Foundation "Electrical Safety", Vienna, (2001)
- [10] Ferris, L.P., King, B.G., Spence, P.W. et/and Williams, H.S.: *"Effects of electric shock on the heart"* Electr. Eng., Vol.55 (1936), p. 498.
- [11] Dalziel, C.F.: *"Dangerous electric currents"* AIEE transactions, Vol.65 (1946), p. 579, Discussion, p. 1123.
- [12] Kouwenhoven, W.B., Knickerbocker, G.G., Chesnut, R.W., Milnor, W.R. and Sass, D.J.: *"A.C. shocks on varying parameters affecting the heart"*, Trans. Amer. Inst. Electr. Eng. Part 1, Vol.78 (1959), p. 163.
- [13] Osypka, P.: *"Messtechnische Untersuchungen über Stromstärke, Einwirkungsdauer und Stromweg bei elektrischen Wechselstromunfällen an Mensch und Tier, Bedeutung und Auswertung für Starkstromanlagen"*, Elektromedizin, Vol.8, (1963), Nr. 3 et/and 4.
- [14] Antoni, H., Biegelmeier, G. and Kieback, D.: *"Konventionelle Grenzwerte mit vertretbarem Risiko für das Auftreten von Herzkammerflimmern bei elektrischen Durchströmungen mit Wechselstrom 50/60 Hz bzw. Gleichstrom"*; ESF-Report No. 3, Private non-profit Foundation "Electrical Safety", Vienna, (2001)
- [15] O'Keefe, W., Ross, N.G. and Trethewie, E.R.: *"Determining tolerable short duration electric shock potentials from heart ventricular fibrillation threshold data"*, Elec. Eng. Trans. I.E. Australia, Vol.EE8, No. 1, (April 1972), p. 9.

- [16] Buntenkötter, S., Jacobsen, J. and Reinhard, H.J.: *"Experimentelle Untersuchungen an Schweinen zur Frage der Mortalität durch sinusförmige phasenangeschnittene sowie gleichgerichtete elektrische Ströme"*, Biomedizinische Technik, Vol.20 (1975), Nr. 3, p. 99.
- [17] Biegelmeier, G. and Lee, W.R.: *"New considerations on the threshold of ventricular fibrillation for a.c. shocks at 50-60 Hz"*, I.E.E. Proc., Vol.127, No.2, Pt. A. (March 1980), p. 103-110.
- [18] Antoni, H.: *"What is measured by the so-called threshold of fibrillation?"*, Progress in pharmacology, Vol.2/4, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, (1979).
- [19] Raftery, E.G., Green, H.L. and Yacoub, M.H.: *"Disturbances of heart rhythm produced by 50 Hz leakage currents in human subjects"*, Cardiovascular research, Vol.9 (1975), p. 263-265.
- [20] Kupfer, J., Bastek, R. and Eggert, S.: *"Grenzwerte zur Vermeidung von Unfällen durch elektrischen Strom mit tödlichem Ausgang"*, Z ges. Hyg., Vol.27 (1981), Nr. 1, p. 9.
- [21] Bridges, J.E.: *"An investigation on low-impedance and low-voltage shocks"*, IEEE-Transactions, Vol.PAS-100, Nr. 4, (April 1981), p. 1529.
- [22] Biegelmeier, G.: *"Wirkungen des elektrischen Stromes auf Menschen und Nutztiere"*, Lehrbuch der Elektropathologie, VDE-Verlag Berlin and Offenbach, (1986).
- [23] Kupfer, J., Funke, K. and Erkens, R.: *"Elektrischer Strom als Unfallursache"*, Verlag Tribüne Berlin, (1987).
- [24] Kieback, D.: *"Ergebnisse von Forschungsarbeiten und statistischen Untersuchungen des Institutes zur Erforschung elektrischer Unfälle"*, e&i, 106.Jg. (1989), H.1, p. 14-20.
- [25] Dalziel, C.F. and Lee, W.R. *"Re-evaluation of Lethal Electric currents"* (1968) IEEE Transactions on Industry Applications IGA-4(5), pp. 467-467.
- [26] Antoni, H. and Biegelmeier, G.: *Über die Wirkungen von Gleichstrom auf den Menschen*, E und M., Vol.96 (1979), Nr. 2, p. 71.
- [27] Killinger, J.: *"Vergleichende Untersuchungen von elektrischen Unfällen durch Gleichstrom bei Spannungen bis 1 200 V in technischer Hinsicht"*, Elektromedizin, Bd.4 (1959), H.5.
- [28] Antoni, H., Hohnloser, S. and Weirich, J.: *"Worauf beruht der Unterschied in der biologischen Wirkung von Gleichstrom und von Wechselstrom am Herzen"*, Arbeitsmedizin, Bd.17 (1982), H.7., p. 167.
- [29] Brinkmann, K. and Schaefer, H. (Hrsg): *"Der Elektrounfall"*, Berlin; Heidelberg; New York: Springer (1982).
- [30] IEC 60479-2:1987, *Effects of current passing through the human body – Part 2: Special aspects*
- [31] IEC 60479-3:1998, *Part 3: Effects of current passing through the body of livestock*
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	64
INTRODUCTION	67
1 Domaine d'application et objet	69
2 Références normatives	70
3 Définitions	70
3.1 Définitions générales	70
3.2 Effets du courant alternatif dans la gamme de fréquences de 15 Hz à 100 Hz	71
3.3 Effets du courant continu	72
4 Impédances électriques du corps humain	72
4.1 Impédance interne du corps humain (Z_i)	72
4.2 Impédance de la peau (Z_s)	73
4.3 Impédance totale du corps humain (Z_T)	73
4.4 Facteurs affectant la résistance initiale du corps humain (R_o)	73
4.5 Valeurs de l'impédance totale du corps humain (Z_T)	73
4.6 Valeur de la résistance initiale du corps humain (R_o)	81
5 Effets du courant alternatif de fréquence comprise entre 15 Hz et 100 Hz	81
5.1 Seuil de perception	81
5.2 Seuil de réaction	81
5.3 Immobilisation	81
5.4 Seuil de non-lâcher	81
5.5 Seuil de fibrillation ventriculaire	82
5.6 Autres effets du courant liés aux chocs électriques	82
5.7 Effets du courant sur la peau	83
5.8 Descriptions des zones temps/courant (voir Figure 20)	84
5.9 Application du facteur de courant de cœur (F)	84
6 Effets du courant continu	85
6.1 Seuil de perception et seuil de réaction	85
6.2 Seuil d'immobilisation et seuil de non-lâcher	85
6.3 Seuil de fibrillation ventriculaire	85
6.4 Autres effets du courant	86
6.5 Descriptions des zones temps/courant (voir Figure 22)	87
6.6 Facteur de cœur	87
Annexes	106
Annexe A (normative) Mesures de l'impédance totale du corps humain Z_T effectuées sur des personnes vivantes et sur des cadavres et analyse statistique des résultats	107
Annexe B (normative) Influence de la fréquence sur l'impédance totale du corps humain (Z_T)	110
Annexe C (normative) Résistance totale du corps (R_T) en courant continu	111
Annexe D (informative) Exemples de calcul de Z_T	112
Bibliographie	116

Figure 1 – Impédances du corps humain.....	87
Figure 2 – Impédances internes partielles Z_{ip} du corps humain	88
Figure 3 – Diagramme simplifié des impédances internes du corps humain	89
Figure 4 – Impédance totale du corps Z_T (50 %) pour un trajet du courant de main à main, pour des surfaces de contact importantes, dans des conditions sèches, humides et humides et salées pour un pourcentage de la population de 50 %, avec des tensions de contact U_T de 25 V à 700 V en courant alternatif 50/60 Hz	90
Figure 5 – Assujettissement de l'impédance totale Z_T d'une personne vivante à la surface de contact dans des conditions sèches et à la tension de contact (50 Hz)	91
Figure 6 – Assujettissement de l'impédance totale du corps Z_T à la tension de contact U_T pour un trajet du courant depuis l'extrémité de l'index gauche vers l'index droit comparée à des surfaces de contact importantes depuis la main droite vers la main gauche, dans des conditions sèches, mesurées sur une personne vivante avec une tension de contact U_T variant de 25 V à 200 V en courant alternatif (50 Hz), d'une durée maximale de l'écoulement du courant de 25 ms	92
Figure 7 – Assujettissement de l'impédance totale du corps Z_T pour un pourcentage de 50 % de la population de personnes vivantes pour des surfaces de contact importantes, moyennes et faibles (respectivement d'environ 10 000 mm ² , 1 000 mm ² et 100 mm ²) dans des conditions sèches avec des tensions de contact U_T variant de 25 V à 200 V en courant alternatif (50/60 Hz)	93
Figure 8 – Assujettissement de l'impédance totale du corps Z_T pour un pourcentage de 50 % de la population de personnes vivantes pour des surfaces de contact importantes, moyennes et faibles (respectivement d'environ 10 000 mm ² , 1 000 mm ² et 100 mm ²) dans des conditions humides avec des tensions de contact U_T variant de 25 V à 200 V en courant alternatif (50/60 Hz)	94
Figure 9 – Assujettissement de l'impédance totale du corps Z_T pour un pourcentage de 50 % de la population de personnes vivantes pour des surfaces de contact importantes, moyennes et faibles (respectivement d'environ 10 000 mm ² , 1 000 mm ² et 100 mm ²) dans des conditions humides et salées avec des tensions de contact U_T variant de 25 V à 200 V en courant alternatif (50/60 Hz)	95
Figure 10 – Valeurs de l'impédance totale du corps Z_T mesurées sur 10 personnes vivantes avec un trajet de courant de main à main et des surfaces de contact importantes dans des conditions sèches pour une tension de contact de 10 V et des fréquences de 25 Hz à 20 kHz	96
Figure 11 – Valeurs de l'impédance totale du corps Z_T mesurées sur 1 personne vivante avec un trajet de courant de main à main et des surfaces de contact importantes dans des conditions sèches pour une tension de contact de 25 V et des fréquences de 25 Hz à 2 kHz	96
Figure 12 – Valeurs de l'impédance totale du corps Z_T en fonction de la fréquence pour un pourcentage de 50 % de la population avec des tensions de contact variant de 10 V à 1 000 V en courant alternatif de 50 Hz à 2 kHz pour un trajet de courant de main à main ou de main à pied avec des surfaces de contact importantes dans des conditions sèches	97
Figure 13 – Valeur statistique des impédances totales du corps Z_T et de la résistance du corps R_T pour un pourcentage de 50 % de la population de personnes vivantes pour un trajet de courant de main à main avec des surfaces de contact importantes, dans des conditions sèches pour des tensions de contact jusqu'à 700 V en courant alternatif de 50/60 Hz et en courant continu	98
Figure 14 – Assujettissement de l'altération de la peau humaine en fonction de la densité du courant i_T et de la durée d'écoulement du courant (pour la description détaillée des zones, voir 5.7)	99
Figure 15 – Electrodes utilisées pour la mesure de l'assujettissement de l'impédance totale du corps Z_T en fonction de la surface de contact	100

Figure 16 – Oscillogrammes des tensions de contact U_T et des courants de contact I_T pour un courant alternatif, trajet de main à main, surfaces de contact importantes, conditions sèches enregistrés d'après mesures	101
Figure 17 – Occurrence de la période vulnérable des ventricules lors du cycle cardiaque. Les nombres indiquent les stades consécutifs de la propagation de l'excitation	102
Figure 18 – Déclenchement de la fibrillation ventriculaire lors d'une période vulnérable. Effets sur l'électrocardiogramme (ECG) et la pression du sang	102
Figure 19 – Données de fibrillation pour les chiens, les cochons et les moutons à partir d'expériences et pour les personnes, calculées à partir des statistiques d'accidents électriques, avec une direction transversale du courant « main-main » et pour des tensions de contact $U_T = 220$ V et 380 V en courant alternatif avec des impédances de corps Z_T (5 %)	103
Figure 20 – Zones temps/courant conventionnelles des effets des courants alternatifs (15 Hz à 100 Hz) sur des personnes pour un trajet de courant correspondant main gauche à pieds (pour plus de détails, voir le Tableau 11)	104
Figure 21 – Oscillogrammes des tensions de contact U_T et des courants de contact I_T pour un trajet de courant continu de main à main, avec surfaces de contact importantes dans des conditions sèches	104
Figure 22 – Zones conventionnelles temps/courant des effets des courants continus sur des personnes pour un trajet longitudinal montant (pour plus de détails, voir Tableau 13)	105
Figure 23 – Courants de non-lâcher pour un courant sinusoïdal de 60 Hz	105
Tableau 1 – Impédance totale du corps humain Z_T pour un trajet de courant main à main en courant alternatif 50/60 Hz pour des surfaces de contact importantes dans des conditions sèches	74
Tableau 2 – Impédance totale du corps humain Z_T pour un trajet de courant main à main en courant alternatif 50/60 Hz pour des surfaces de contact importantes dans des conditions humides	75
Tableau 3 – Impédance totale du corps humain Z_T pour un trajet de courant main à main en courant alternatif 50/60 Hz pour des surfaces de contact importantes dans des conditions humides et salées	76
Tableau 4 – Impédance totale du corps humain Z_T pour un trajet de courant main à main pour des surfaces de contact moyennes dans des conditions sèches, pour des tensions de contact U_T de 25 V à 200 V en courant alternatif 50/60 Hz (valeurs arrondies à 25 Ω)	77
Tableau 5 – Impédance totale du corps humain Z_T pour un trajet de courant main à main pour des surfaces de contact moyennes dans des conditions humides, pour des tensions de contact U_T de 25 V à 200 V en courant alternatif 50/60 Hz (valeurs arrondies à 25 Ω)	78
Tableau 6 – Impédance totale du corps humain Z_T pour un trajet de courant main à main pour des surfaces de contact moyennes dans des conditions humides et salées, pour des tensions de contact U_T de 25 V à 200 V en courant alternatif 50/60 Hz (valeurs arrondies à 25 Ω)	78
Tableau 7 – Impédance totale du corps humain Z_T pour un trajet de courant main à main pour des surfaces de contact faibles dans des conditions sèches, pour des tensions de contact U_T de 25 V à 200 V en courant alternatif 50/60 Hz (valeurs arrondies à 25 Ω)	78
Tableau 8 – Impédance totale du corps humain Z_T pour un trajet de courant main à main pour des surfaces de contact faibles dans des conditions humides, pour des tensions de contact U_T de 25 V à 200 V en courant alternatif 50/60 Hz (valeurs arrondies à 25 Ω)	79

Tableau 9 – Impédance totale du corps humain Z_T pour un trajet de courant main à main pour des surfaces de contact faibles dans des conditions humides et salées, pour des tensions de contact U_T de 25 V à 200 V en courant alternatif 50/60 Hz (valeurs arrondies à 5 Ω).....	79
Tableau 10 – Résistance totale du corps humain R_T pour un trajet de courant main à main en courant continu pour des surfaces de contact importantes dans des conditions sèches.....	80
Tableau 11 – Zones temps/courant en tension alternative 15 Hz à 100 Hz pour un trajet main à pied – Description des zones de la Figure 20	84
Tableau 12 – Facteur de courant de cœur F pour différents trajets du courant.....	85
Tableau 13 – Zones temps/courant en courant continu pour un trajet main à pied – Description des zones de la Figure 22	87
Tableau A.1 – Impédances totales du corps humain Z_T , électrodes de type A dans des conditions sèches et facteurs de correction F_D (5 % et 95 %)	107
Tableau A.2 – Impédances totales du corps humain Z_T , électrodes de type B dans des conditions sèches, humides et humides et salées et facteurs de correction F_D (5 % et 95 %).....	107
Tableau A.3 – Impédances totales du corps humain Z_T dans des conditions sèches, humides et humides et salées et facteurs de correction F_D (5 % et 95 %).....	108
Tableau A.4 – Facteurs de correction F_D (5 %) et F_D (95 %) dans des conditions sèches et humides pour des tensions de contact variant de $U_T = 25$ V à 400 V pour des surfaces de contact importantes, moyennes et faibles.....	109
Tableau D.1 – Valeurs d'impédances totales du corps pour 50 % de la population pour un trajet de courant mains à pieds, surfaces de contact moyenne pour les mains et importante pour les pieds, facteur de réduction de 0,8, conditions sèches, courants de contact I_T et effets électrophysiologiques.....	114

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

EFFETS DU COURANT SUR L'HOMME ET LES ANIMAUX DOMESTIQUES –

Partie 1: Aspects généraux

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications, la CEI 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 la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 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 la CEI, 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 la CEI, 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 la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, 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 la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

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

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

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

La CEI 60479-1, qui est une spécification technique, a été établie par le comité d'études 64 de la CEI: Installations électriques et protection contre les chocs électriques.

Cette quatrième édition remplace et annule la troisième édition parue comme rapport technique en 1994. Cette quatrième édition constitue une révision technique.

Les modifications principales par rapport à l'édition précédente sont les suivantes:

- Assujettissement de l'impédance totale du corps Z_T pour 50 % de la population des personnes vivantes et pour des surfaces de contact importantes, moyennes et petites dans des conditions secs, humides et humides et salées pour des tensions de contact U_T variant de 25 V à 200 V c.a. 50/60 Hz.
- Les oscillogrammes des tensions de contact U_T et des courants de contact I_T pour un passage de courant c.a. de la main à la main pour des surfaces de contact importantes dans des conditions sèches à partir des mesures indiquées en Figure 16 avec les explications données dans le texte.
- Les données de fibrillation pour les chiens, porcs et moutons obtenues par expérimentation ainsi que pour les personnes à partir de statistiques d'accidents électriques avec un courant transversal « main à main » et des tensions de contact U_T de 220 V et de 380 V c.a et des impédances de corps Z_T (5%) données dans la Figure 19 avec les explications données dans le texte.
- La modification de la Courbe B de la Figure 20 de 10 mA à 5 mA: les zones conventionnelles temps/courant des courants c.a. (de 15 Hz à 100 Hz) relatives aux personnes avec les explications données dans le texte.
- Les courants de non-lâcher en courant sinusoïdal 60 Hz présentés en Figure 23 avec les explications données dans le texte.
- La nouvelle structure de la norme.

Cette spécification technique a le statut d'une publication fondamentale de sécurité conformément au Guide CEI 104.

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

Projet d'enquête	Rapport de vote
64/1427/DTS	64/1463/RVC

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

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

La CEI 60479 est constituée des parties suivantes, regroupées sous le titre général *Effets du courant sur l'homme et les animaux domestiques*

Partie 1: Aspects généraux

Partie 2: Aspects particuliers:

Chapitre 4: Effets du courant alternatif de fréquence supérieure à 100 Hz

Chapitre 5: Effets des courants de formes d'ondes spéciales

Chapitre 6: Effets des courants d'impulsion unique de courte durée

Partie 3: Effets du courant passant par le corps d'animaux domestiques

Partie 4: Effets de la foudre sur le corps humain et les animaux

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

- transformée en Norme internationale,
- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

Le contenu des corrigenda d'octobre 2006 et de juin 2013 a été pris en considération dans cet exemplaire.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TS 60479-1:2005

Without 2005

INTRODUCTION

La présente spécification technique donne des indications fondamentales sur les effets du courant de choc sur le corps humain et les animaux, afin de les utiliser pour les exigences de la sécurité électrique.

Afin d'éviter des erreurs d'interprétation de la présente spécification, il faut souligner que les données se fondent essentiellement sur des expériences sur des animaux et sur des données fournies par des observations médicales. Seuls quelques essais de courants de choc de courte durée ont été effectués sur des êtres humains.

Selon les résultats obtenus à partir d'expériences sur les animaux, les valeurs sont d'autant plus conservatrices qu'elles sont applicables à des personnes dans des conditions physiologiques normales, y compris les enfants, quels que soient leur âge et leur poids.

Toutefois, d'autres aspects sont à prendre en compte tels que la probabilité de défauts, la probabilité de contact avec des parties actives ou en défaut, le rapport entre la tension de contact et celle de défaut, l'expérience acquise, les possibilités techniques et économiques. Ces paramètres seront soigneusement considérés lors de l'élaboration d'exigences de sécurité, par exemple les caractéristiques de fonctionnement des dispositifs de protection mis en œuvre dans les installations électriques.

La forme de cette spécification, comme elle a été adoptée, fait la synthèse des résultats aboutis utilisés par le comité d'études 64 comme base pour les exigences de la protection contre les chocs électriques. Ces résultats ont été considérés comme suffisamment importants pour justifier la publication pouvant servir de base pour d'autres comités et d'autres pays ayant besoin de ces informations.

La présente spécification technique est applicable au seuil de fibrillation ventriculaire, cause principale de mort due au courant électrique. L'analyse des récents résultats de la recherche cardio-physiologique relatifs à ces seuils de fibrillation permet d'apprécier l'influence des paramètres physiques essentiels et, particulièrement la durée de l'écoulement du courant.

La CEI 60479-1 donne des informations sur l'impédance du corps et les seuils de courant pour divers effets physiologiques. Ces informations peuvent être associées pour donner des estimations des seuils de tension de toucher en courant alternatif et continu pour certains cheminements dans le corps, des conditions d'humidité et des zones de contact de la peau. Des informations sur les seuils de tension de toucher relatifs aux effets physiologiques sont données dans la CEI 61201.

Cette spécification se réfère particulièrement aux effets du courant électrique. Lors d'une évaluation des effets dangereux sur des personnes et des animaux, des phénomènes non électriques tels que chutes, brûlures, incendie ou autres peuvent apparaître et il convient d'en tenir compte. Ces phénomènes sont hors du domaine d'application de cette spécification, mais peuvent être très importants.

Des travaux récents ont été menés sur ces autres paramètres d'accidents physiques, particulièrement la forme d'onde et la fréquence du courant ainsi que l'impédance du corps. Il convient que cette quatrième révision de la CEI 60479-1 soit menée en tenant compte du développement logique et de l'évolution de la troisième édition.

L'Article 2 de la CEI 60479-1 (troisième édition) relatif à l'impédance du corps humain donne peu d'informations sur l'assujettissement de l'impédance à la surface de contact et cela, seulement dans des conditions sèches.

Ainsi, des mesures ont été effectuées sur 10 personnes utilisant des surfaces de contact moyennes et petites dans des conditions sèches, humides, humides et salées, avec un passage de courant main/main pour une tension de contact de 25 V c.a. à 50 Hz. Les valeurs d'impédance pour un pourcentage de population de 5 %, 50 % et 95 % ont été calculées d'après ces mesures.

En raisons de sensations désagréables et de l'éventualité de danger lors de l'utilisation de surfaces de contact importantes (de l'ordre de 10 000 mm²) dans des conditions sèches, humides, humides et salées, avec des surfaces de contact moyennes et faibles (de l'ordre de 1 000 mm² et 100 mm²) dans des conditions sèches et pour des tensions de contact depuis 25 V jusqu'à 200 V c.a. inclus, ces expériences ont été effectuées sur une seule personne. En utilisant les facteurs de déviation, il n'a pas été possible d'interpoler des valeurs d'impédance totale Z_T du corps pour des pourcentages de population de 5 %, 50 % et 95 %. Sur cette même personne, des mesures ont été effectuées avec des surfaces de contact plus faibles (10 mm² et 1 mm²) et entre les doigts.

Pour le calcul de l'impédance totale du corps humain Z_T pour des pourcentages de population de 5 %, 50 % et 95 % et pour des surfaces de contact importantes et des tensions de contact entre 200 V et 700 V et jusqu'aux valeurs asymptotiques, la méthode d'adaptation des valeurs de Z_T mesurées sur des cadavres, comparées à celles utilisées dans la deuxième édition de la CEI 60479-1 a été améliorée en tenant compte des diverses températures des cadavres lors des mesures et celle de 37 °C pour les humains.

L'état actuel des connaissances de l'impédance en courant alternatif Z_T pour des surfaces de contact importantes, moyennes et faibles dans des conditions sèches, humides, humides et salées et de la résistance en courant continu R_T du corps humain pour des surfaces de contact importantes dans des conditions sèches est présenté.

Il convient de mentionner que les valeurs des seuils sont valables pour toutes les personnes (hommes, femmes et enfants) quel que soit leur état de santé. Des objections sur ce point sont souvent présentées, mais elles représentent des opinions ne se fondant sur aucune expérience. Des mesures indiquent que les seuils de perception et de non-lâcher sont plus faibles pour les femmes que pour les hommes. Cela peut aussi être le cas pour les enfants.

De plus, dans l'Article 5, le facteur du courant dans le cœur F pour un passage du courant pied à pied est important pour les risques électriques dus à la tension de pas.

EFFETS DU COURANT SUR L'HOMME ET LES ANIMAUX DOMESTIQUES –

Partie 1: Aspects généraux

1 Domaine d'application

Pour un même trajet du courant à travers le corps humain, le danger qu'encourent les personnes dépend essentiellement de l'intensité et de la durée de passage du courant. Toutefois, les zones temps/courant spécifiées dans les paragraphes suivants ne sont pas, dans beaucoup de cas, directement applicables en pratique pour concevoir la protection contre les chocs électriques; le critère est la limite admissible de la tension de contact (c'est-à-dire le produit du courant passant dans le corps humain et de son impédance) en fonction du temps. La relation entre le courant et la tension n'est pas linéaire du fait que l'impédance du corps humain varie avec la tension de contact. Il importe donc de disposer de données quant à cette relation. Les différentes parties du corps humain – telles que la peau, le sang, les muscles, d'autres tissus et les articulations – présentent pour le courant électrique une certaine impédance composée d'éléments résistifs et capacitifs.

Les valeurs de ces impédances dépendent de plusieurs facteurs et notamment du trajet du courant, de la tension de contact, de la durée du passage du courant, de la fréquence du courant, de l'état de l'humidité de la peau, de la surface de contact, de la pression exercée et de la température.

Les valeurs d'impédances indiquées dans cette spécification technique résultent d'un examen minutieux des résultats expérimentaux disponibles de mesures effectuées principalement sur des cadavres et sur quelques personnes vivantes.

La connaissance des effets du courant alternatif est principalement fondée sur les données concernant les effets du courant électrique à la fréquence de 50 Hz ou de 60 Hz, fréquences les plus utilisées dans les installations électriques. Les valeurs indiquées sont toutefois considérées comme applicables dans la gamme des fréquences de 15 Hz à 100 Hz, les valeurs du seuil aux limites de cette gamme étant plus élevées que celles à la fréquence de 50 Hz ou de 60 Hz. C'est principalement le risque de fibrillation ventriculaire du cœur qui est considéré comme le mécanisme essentiel d'accidents électriques entraînant la mort.

Les accidents en courant continu sont beaucoup moins fréquents que l'on pourrait présumer en considérant le nombre d'applications en courant continu et des accidents mortels se produisant seulement dans des conditions très défavorables, par exemple dans des mines. Cela est dû en partie au fait que, pour des durées de choc supérieures à la période du cycle cardiaque, le seuil de fibrillation ventriculaire est beaucoup plus élevé qu'en courant alternatif.

NOTE La série CEI 60479 contient des informations sur l'impédance du corps et les seuils de courant à travers le corps pour divers effets physiologiques. Ces informations peuvent être associées à des seuils de tension de contact estimés en c.a. et c.c. pour certains passages de courant dans le corps, des conditions d'humidité et des surfaces de contact. Des informations sur les seuils de tension de contact relatifs aux effets physiologiques sont données dans la CEI 61201.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 61201:1992, *Très basse tension (TBT) – Valeurs limites*

Guide CEI 104 :1997, *Elaboration des publications de sécurité et utilisation des publications fondamentales de sécurité et publications groupées de sécurité*

3 Termes et définitions

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

3.1 Définitions générales

3.1.1

courant longitudinal

courant passant dans le sens longitudinal à travers le tronc du corps humain, par exemple de la main aux pieds

3.1.2

courant transversal

courant passant dans le sens transversal à travers le tronc du corps humain, par exemple de la main à la main

3.1.3

impédance interne du corps humain

Z_i

impédance entre deux électrodes en contact avec deux parties du corps humain en négligeant les impédances de la peau

3.1.4

impédance de la peau

Z_s

impédance entre une électrode sur la peau et les tissus conducteurs sous-jacents

3.1.5

impédance totale du corps humain

Z_T

somme vectorielle de l'impédance interne et des impédances de la peau (voir Figure 1)

3.1.6

résistance initiale du corps humain

R_0

résistance limitant la valeur de crête du courant au moment où la tension de contact est appliquée

3.1.7

condition sèche

condition de la peau dont une surface de contact vis-à-vis des conditions d'humidité est, pour un être vivant au repos, dans des conditions d'environnement intérieur normal

3.1.8**condition mouillée**

condition de la peau dont une surface de contact est soumise pendant 1 min à la présence d'eau du robinet (résistivité moyenne $\rho = 3\,500\ \Omega\text{cm}$, pH = 7 à 9)

3.1.9**condition salée**

condition de la peau dont une surface de contact est soumise pendant 1 min à la présence d'une solution de 3 % de NaCl dans l'eau (résistivité moyenne $\rho = 30\ \Omega\text{cm}$, pH = 7 à 9)

NOTE Il est supposé que la condition salée simule la condition de la peau d'une personne transpirant ou sortant d'un bain de mer. Des recherches complémentaires sont nécessaires.

3.1.10**facteur de déviation**

F_D

impédance totale du corps Z_T pour un pourcentage donné de la population divisée par l'impédance totale du corps pour un pourcentage de 50 % de la population à une tension de contact donnée

$$F_D(X\%, U_T) = \frac{Z_T(X\%, U_T)}{Z_T(50\%, U_T)}$$

3.2 Effets du courant alternatif dans la gamme de fréquences de 15 Hz à 100 Hz**3.2.1****seuil de perception**

valeur minimale du courant provoquant une sensation pour une personne traversée par un courant

3.2.2**seuil de réaction**

valeur minimale du courant provoquant une contraction musculaire involontaire

3.2.3**seuil de non-lâcher**

valeur maximale du courant à laquelle une personne tenant les électrodes peut les lâcher

3.2.4**seuil de fibrillation ventriculaire**

valeur minimale du courant à travers le corps provoquant une fibrillation ventriculaire

3.2.5**facteur de courant de cœur**

F

rapport entre l'intensité du champ électrique (densité de courant) dans le cœur pour un trajet donné du courant au champ électrique (densité du courant) dans le cœur et celle pour un courant de même intensité s'écoulant entre la main gauche et les deux pieds

NOTE Dans le cœur, la densité de courant est proportionnelle à la valeur du champ électrique.

3.2.6**période vulnérable**

partie relativement faible du cycle cardiaque pendant laquelle les fibres du cœur sont dans un état hétérogène d'excitabilité provoquant la fibrillation ventriculaire si les fibres sont excitées par un courant électrique d'intensité suffisante

NOTE La période vulnérable correspond à la première partie de l'onde T dans l'électrocardiogramme et représente environ 10 % du cycle cardiaque (voir Figures 17 et 18).

3.3 Effets du courant continu

3.3.1

résistance totale du corps

R_T

somme de la résistance interne du corps humain et des résistances de la peau

3.3.2

facteur d'équivalence courant continu/alternatif

k

rapport entre la valeur du courant continu et la valeur efficace équivalente du courant alternatif présentant la même probabilité d'apparition de fibrillation ventriculaire

NOTE Par exemple, pour des durées de choc supérieures à celles d'un cycle cardiaque et une probabilité de fibrillation ventriculaire de 50 %, le facteur d'équivalence pour 10 s est approximativement:

$$k = \frac{I_{\text{c.c.-fibrillation}}}{I_{\text{c.a.-fibrillation (eff.)}}} = \frac{300 \text{ mA}}{80 \text{ mA}} = 3,75 \text{ (voir Figures 20 et 22)}$$

3.3.3

courant montant

courant continu dans le corps humain pour lequel les pieds représentent le pôle positif

3.3.4

courant descendant

courant continu dans le corps humain pour lequel les pieds représentent le pôle négatif

4 Impédances électriques du corps humain

Les valeurs d'impédances du corps humain sont fonction de nombreux paramètres, en particulier le trajet du courant, la tension de contact, la durée du passage, la fréquence, l'humidité de la peau, la surface de contact, la pression exercée et la température.

Un diagramme des impédances du corps humain est indiqué en Figure 1.

4.1 Impédance interne du corps humain (Z_i)

L'impédance interne du corps humain peut être considérée comme essentiellement résistive. Sa valeur dépend principalement du trajet du courant et, dans une moindre mesure, de la surface de contact.

NOTE 1 Les mesures montrent qu'une faible composante capacitive existe (traits pointillés de la Figure 1).

La Figure 2 indique les valeurs de l'impédance interne du corps humain, pour différents trajets, exprimées en pourcentage de la valeur pour le trajet de la main au pied.

Pour des trajets de courant main à main ou main à pieds, les impédances sont essentiellement localisées dans les extrémités (bras et jambes). Si l'impédance du tronc du corps est négligée, un diagramme simplifié peut être représenté comme indiqué à la Figure 3.

NOTE 2 Afin de simplifier le diagramme, il est supposé que les impédances des bras et des jambes ont la même valeur.

4.2 Impédance de la peau (Z_s)

L'impédance de la peau peut être considérée comme un ensemble de résistances et de capacités. Sa structure est constituée par une couche semi-conductrice et de petits éléments conducteurs (pores). L'impédance de la peau décroît lorsque le courant augmente. Des marques de courant sont parfois observées (voir 4.7).

La valeur de l'impédance de la peau dépend de la tension, de la fréquence, de la durée du passage du courant, de la surface de contact, de la pression de contact, de l'humidité de la peau, de la température et du type de peau.

Pour des tensions de contact faibles, la valeur de l'impédance de la peau varie largement, pour une même personne, en fonction de la surface de contact et de sa condition (sèche, humide, transpiration), de la température, d'une respiration rapide, etc. Pour des tensions de contact élevées, l'impédance de la peau décroît rapidement et devient négligeable lorsque la peau est perforée.

En fonction de la fréquence, l'impédance de la peau décroît si la fréquence augmente.

4.3 Impédance totale du corps humain (Z_T)

L'impédance totale du corps humain est constituée d'éléments résistifs et capacitifs.

Pour des tensions de contact basses, il existe des variations importantes de l'impédance de la peau Z_s et l'impédance totale du corps humain Z_T varie de même largement. Pour des tensions de contact élevées, l'impédance totale dépend de moins en moins de l'impédance de la peau et sa valeur approche, celle de l'impédance interne Z_i . Voir Figures 4 à 9.

Pour l'influence de la fréquence, compte tenu de la variation de l'impédance de la peau en fonction de la fréquence, l'impédance totale du corps humain est plus élevée en courant continu et décroît lorsque la fréquence augmente.

4.4 Facteurs affectant la résistance initiale du corps humain (R_0)

Au moment où la tension de contact est appliquée, les capacités du corps humain ne sont pas chargées, c'est pourquoi les impédances de la peau Z_{s1} et Z_{s2} sont négligeables et la résistance initiale R_0 est approximativement égale à l'impédance interne du corps humain Z_i (voir Figure 1). La résistance initiale R_0 dépend principalement du trajet du courant et, dans une moindre mesure, de la surface de contact.

La résistance initiale R_0 limite les pointes de courant d'impulsions brèves (par exemple les chocs dus à des clôtures électriques).

4.5 Valeurs de l'impédance totale du corps humain (Z_T)

La sujétion de l'impédance totale du corps humain Z_T pour 50 % de la population des êtres vivants et pour des surfaces de contact larges, moyennes et petites (ordre de grandeur respectif de 10 000 mm², 1 000 mm² et 100 mm²) dans des conditions sèches, humides et humides et salées avec des conditions de tension de contact U_T de 25 V c.a. à 200 V c.a. est indiquée dans les Figures 7, 8 et 9.

4.5.1 Courant alternatif sinusoïdal 50/60 Hz pour des surfaces de contact importantes

Les valeurs de l'impédance totale du corps humain indiquées dans les Tableaux 1, 2 et 3 sont valables pour des êtres vivants, un trajet main à main avec des surfaces de contact importantes (10 000 mm²) dans des conditions sèches (Tableau 1), des conditions humides (Tableau 2) et des conditions humides et salées (Tableau 3).

Le domaine des impédances totales du corps pour des tensions de contact jusqu'à 700 V pour des surfaces de contact importantes dans des conditions sèches, humides et humides et salées pour un pourcentage de la population de 50 % est indiqué dans la Figure 4.

Les valeurs des Tableaux 1, 2 et 3 représentent actuellement la meilleure connaissance de l'impédance totale du corps humain Z_T pour les adultes vivants. L'état actuel des connaissances laisse penser que l'impédance totale du corps des enfants serait du même ordre de grandeur mais un peu plus élevée.

Tableau 1 – Impédance totale du corps humain Z_T pour un trajet de courant main à main en courant alternatif 50/60 Hz pour des surfaces de contact importantes dans des conditions sèches

Tension de contact V	Valeurs de l'impédance totale Z_T (Ω) du corps humain qui ne sont pas dépassées par		
	5 % de la population	50 % de la population	95 % de la population
25	1 750	3 250	6 100
50	1 375	2 500	4 600
75	1 125	2 000	3 600
100	990	1 725	3 125
125	900	1 550	2 675
150	850	1 400	2 350
175	825	1 325	2 175
200	800	1 275	2 050
225	775	1 225	1 900
400	700	950	1 275
500	625	850	1 150
700	575	775	1 050
1 000	575	775	1 050
Valeur asymptotique = impédance interne	575	775	1 050

NOTE 1 Quelques mesures indiquent que l'impédance totale du corps humain pour un trajet de courant main à pied est un peu plus faible que pour un trajet main à main (10 % à 30 %).

NOTE 2 Pour des êtres vivants, les valeurs de Z_T correspondent à une durée d'écoulement de courant d'environ 0,1 s. Pour des durées supérieures, les valeurs de Z_T peuvent décroître (d'environ de 10 % à 20 %) et après claquage complet de la peau, la valeur de Z_T est proche de celle de l'impédance interne du corps humain Z_i .

NOTE 3 Pour la valeur normalisée de 230 V pour la tension (réseau triphasé 3N ~ 230/400 V), il peut être supposé que les valeurs de l'impédance totale du corps sont les mêmes que pour une tension de contact de 225 V.

NOTE 4 Les valeurs de Z_T sont arrondies à 25 Ω .

Tableau 2 – Impédance totale du corps humain Z_T pour un trajet de courant main à main en courant alternatif 50/60 Hz pour des surfaces de contact importantes dans des conditions humides

Tension de contact V	Valeurs de l'impédance totale Z_T (Ω) du corps humain qui ne sont pas dépassées par		
	5 % de la population	50 % de la population	95 % de la population
25	1 175	2 175	4 100
50	1 100	2 000	3 675
75	1 025	1 825	3 275
100	975	1 675	2 950
125	900	1 550	2 675
150	850	1 400	2 350
175	825	1 325	2 175
200	800	1 275	2 050
225	775	1 225	1 900
400	700	950	1 275
500	625	850	1 150
700	575	775	1 050
1 000	575	775	1 050
Valeur asymptotique = impédance interne	575	775	1 050

NOTE 1 Quelques mesures indiquent que l'impédance totale du corps humain pour un trajet de courant main à pied est un peu plus faible que pour un trajet main à main (10 % à 30 %).

NOTE 2 Pour des êtres vivants, les valeurs de Z_T correspondent à une durée d'écoulement de courant d'environ 0,1 s. Pour des durées supérieures, les valeurs de Z_T peuvent décroître (d'environ de 10 % à 20 %) et après claquage complet de la peau, la valeur de Z_T est proche de celle l'impédance interne du corps humain Z_i .

NOTE 3 Pour la valeur normalisée de 230 V pour la tension (réseau triphasé 3N ~ 230/400 V), il peut être supposé que les valeurs de l'impédance totale du corps sont les mêmes que pour une tension de contact de 225 V.

NOTE 4 Les valeurs de Z_T sont arrondies à 25 Ω .

Tableau 3 – Impédance totale du corps humain Z_T pour un trajet de courant main à main en courant alternatif 50/60 Hz pour des surfaces de contact importantes dans des conditions humides et salées

Tension de contact V	Valeurs de l'impédance totale Z_T (Ω) du corps humain qui ne sont pas dépassées par		
	5 % de la population	50 % de la population	95 % de la population
25	960	1 300	1 755
50	940	1 275	1 720
75	920	1 250	1 685
100	880	1 225	1 655
125	850	1 200	1 620
150	830	1 180	1 590
175	810	1 155	1 560
200	790	1 135	1 530
225	770	1 115	1 505
400	700	950	1 275
500	625	850	1 150
700	575	775	1 050
1 000	575	775	1 050
Valeur asymptotique = impédance interne	575	775	1 050

NOTE 1 Quelques mesures indiquent que l'impédance totale du corps humain pour un trajet de courant main à pied est un peu plus faible que pour un trajet main à main (10 % à 30 %).

NOTE 2 En raison de la faible impédance de la peau, il peut être supposé que Z_T dépend en partie de la durée de l'écoulement du courant; Z_T est proche de l'impédance interne du corps Z_i .

NOTE 3 Pour la valeur normalisée de 230 V pour la tension (réseau triphasé 3N ~ 230/400 V), il peut être supposé que les valeurs de l'impédance totale du corps sont les mêmes que pour une tension de contact de 225 V.

NOTE 4 Les valeurs de Z_T sont arrondies à 5 Ω .

Les valeurs indiquées dans les Tableaux 1 à 3 sont issues de mesures effectuées sur des cadavres et sur des personnes vivantes (adultes, hommes et femmes) comme indiqué dans l'Annexe A.

Pour des tensions approximativement supérieures à 125 V dans des conditions humides et à 400 V dans des conditions humides et salées, les valeurs de l'impédance totale du corps sont identiques à celles obtenues dans des conditions sèches (voir Figure 4).

4.5.2 Courant alternatif sinusoïdal 50/60 Hz pour des surfaces de contact moyennes et faibles

Les valeurs de l'impédance interne du corps Z_i et de la résistance initiale du corps R_0 (voir 4.6) dépendent peu des dimensions des surfaces de contact.

Toutefois, si la surface de contact est très faible, de l'ordre de quelques millimètres carrés, les valeurs sont augmentées.

Après claquage de la peau (pour des tensions de contact d'environ 100 V et pour des durées d'écoulement plus grandes), l'impédance totale du corps Z_T est proche de l'impédance interne du corps Z_i et dépend peu des dimensions des surfaces de contact, ainsi que des conditions d'humidité.

Les mesures d'assujettissement de l'impédance totale du corps Z_T à la surface de contact en courant alternatif 50 Hz dans des conditions sèches, humides et humides salées effectuées sur des personnes vivantes pour des tensions de contact U_T comprises entre 25 V et 200 V sont décrites à l'Annexe A.

NOTE Aucune donnée relative à Z_T n'a été relevée pour des personnes vivantes ou des cadavres dans des conditions humides et salées pour des tensions de contact supérieures à 200 V.

La dépendance de l'impédance totale du corps Z_T pour un trajet du courant de main à pied pour une surface de contact (d'environ 1 mm² à 8 000 mm²) dans des conditions sèches et pour des tensions de contact variant de 25 V à 200 V en courant alternatif 50 Hz, est indiquée en Figure 5. Pour des tensions de contact inférieures à 100 V et pour des surfaces de contact faibles, des variations de mesures de plus de 50 % vis-à-vis de la valeur moyenne peuvent être facilement observées selon la température, la pression, l'emplacement dans la paume de la main, etc.

La dépendance de l'impédance totale du corps Z_T entre les extrémités de l'index droit et de l'index gauche (surface de contact d'environ 250 mm²), pour une tension de contact en courant alternatif 50/60 Hz variant de 25 V à 200 V est indiquée en Figure 6.

A partir de la Figure 6, l'impédance partielle d'un index pour une tension de contact de 200 V est de l'ordre de 1 000 Ω .

Les mesures de l'impédance totale du corps Z_T indiquées dans les Figures 5 et 6 n'ont été effectuées que sur une seule personne vivante.

Pour un pourcentage de la population de 5 %, 50 % et 95 % et selon les données obtenues, la présentation suivante de l'impédance totale du corps Z_T pour des surfaces de contact importantes, moyennes et faibles (de l'ordre respectif de 10 000 mm², 1 000 mm² et 100 mm²) dans des conditions sèches, humides et humides et salées est donnée:

- pour des surfaces de contact importantes, les valeurs sont indiquées dans les Tableaux 1, 2 et 3, dans des conditions sèches, humides et humides et salées pour des tensions de contact U_T variant de 25 V à 1 000 V, en courant alternatif 50/60 Hz;
- pour des surfaces de contact moyennes, les valeurs sont données dans les Tableaux 4, 5 et 6, dans des conditions sèches, humides et humides et salées pour des tensions de contact U_T variant de 25 V à 200 V en courant alternatif 50/60 Hz;
- pour des surfaces de contact faibles, les valeurs sont indiquées dans les Tableaux 7, 8 et 9, pour des conditions sèches, humides et humides et salées et pour des tensions de contact U_T variant de 25 V à 200 V en courant alternatif 50/60 Hz.

Tableau 4 – Impédance totale du corps humain Z_T pour un trajet de courant main à main pour des surfaces de contact moyennes dans des conditions sèches, pour des tensions de contact U_T de 25 V à 200 V en courant alternatif 50/60 Hz (valeurs arrondies à 25 Ω)

Tension de contact V	Valeurs de l'impédance totale Z_T (Ω) du corps humain qui ne sont pas dépassées par		
	5 % de la population	50 % de la population	95 % de la population
25	11 125	20 600	38 725
50	7 150	13 000	23 925
75	4 625	8 200	14 750
100	3 000	5 200	9 150
125	2 350	4 000	6 875
150	1 800	3 000	5 050
175	1 550	2 500	4 125
200	1 375	2 200	3 525

Tableau 5 – Impédance totale du corps humain Z_T pour un trajet de courant main à main pour des surfaces de contact moyennes dans des conditions humides, pour des tensions de contact U_T de 25 V à 200 V en courant alternatif 50/60 Hz (valeurs arrondies à 25 Ω)

Tension de contact V	Valeurs de l'impédance totale Z_T (Ω) du corps humain qui ne sont pas dépassées par		
	5 % de la population	50 % de la population	95 % de la population
25	5 050	9 350	17 575
50	4 100	7 450	13 700
75	3 400	6 000	10 800
100	2 800	4 850	8 525
125	2 350	4 000	6 875
150	1 800	3 000	5 050
175	1 550	2 500	4 125
200	1 375	2 200	3 525

Tableau 6 – Impédance totale du corps humain Z_T pour un trajet de courant main à main pour des surfaces de contact moyennes dans des conditions humides et salées, pour des tensions de contact U_T de 25 V à 200 V en courant alternatif 50/60 Hz (valeurs arrondies à 5 Ω)

Tension de contact V	Valeurs de l'impédance totale Z_T (Ω) du corps humain qui ne sont pas dépassées par		
	5 % de la population	50 % de la population	95 % de la population
25	1 795	2 425	3 275
50	1 765	2 390	3 225
75	1 740	2 350	3 175
100	1 715	2 315	3 125
125	1 685	2 280	3 075
150	1 660	2 245	3 030
175	1 525	2 210	2 985
200	1 350	2 175	2 935

Tableau 7 – Impédance totale du corps humain Z_T pour un trajet de courant main à main pour des surfaces de contact faibles dans des conditions sèches, pour des tensions de contact U_T de 25 V à 200 V en courant alternatif 50/60 Hz (valeurs arrondies à 25 Ω)

Tension de contact V	Valeurs de l'impédance totale Z_T (Ω) du corps humain qui ne sont pas dépassées par		
	5 % de la population	50 % de la population	95 % de la population
25	91 250	169 000	317 725
50	74 800	136 000	250 250
75	42 550	74 000	133 200
100	23 000	40 000	70 400
125	12 875	22 000	37 850
150	7 200	12 000	20 225
175	4 000	6 500	10 725
200	3 500	5 400	8 650

Tableau 8 – Impédance totale du corps humain Z_T pour un trajet de courant main à main pour des surfaces de contact faibles dans des conditions humides, pour des tensions de contact U_T de 25 V à 200 V en courant alternatif 50/60 Hz (valeurs arrondies à 25 Ω)

Tension de contact V	Valeurs de l'impédance totale Z_T (Ω) du corps humain qui ne sont pas dépassées par		
	5 % de la population	50 % de la population	95 % de la population
25	39 700	73 500	138 175
50	29 800	54 200	99 725
75	22 600	40 000	72 000
100	17 250	30 000	52 800
125	12 875	22 000	37 850
150	7 200	12 000	20 225
175	4 000	6 500	10 725
200	3 500	5 400	8 650

Tableau 9 – Impédance totale du corps humain Z_T pour un trajet de courant main à main pour des surfaces de contact faibles dans des conditions humides et salées, pour des tensions de contact U_T de 25 V à 200 V en courant alternatif 50/60 Hz (valeurs arrondies à 5 Ω)

Tension de contact V	Valeurs de l'impédance totale Z_T (Ω) du corps humain qui ne sont pas dépassées par		
	5 % de la population	50 % de la population	95 % de la population
25	5 400	7 300	9 855
50	5 105	6 900	9 315
75	4 845	6 550	8 840
100	4 590	6 200	8 370
125	4 330	5 850	7 900
150	4 000	5 550	7 490
175	3 700	5 250	7 085
200	3 400	5 000	6 750

4.5.3 Courant alternatif sinusoïdal jusqu'à des fréquences de 20 kHz

Les valeurs de l'impédance totale du corps humain à 50/60 Hz diminuent pour des fréquences plus élevées en raison de l'influence des capacités de la peau et sont proches de l'impédance interne du corps humain Z_i pour des fréquences supérieures à 5 kHz.

Les mesures de l'impédance totale du corps humain qui ont été menées jusqu'à des fréquences de 20 kHz avec des tensions de contact de 10 V et de 25 V sont décrites dans l'Annexe B.

La Figure 10 montre que l'impédance totale du corps humain Z_T , pour un trajet de courant main à main et d'importantes surfaces de contact pour une tension de contact de 10 V, dépend de la fréquence variant de 25 Hz à 20 kHz.

La Figure 11 montre que l'impédance totale du corps humain Z_T , pour un trajet de courant main à main et d'importantes surfaces de contact pour une tension de contact de 25 V, dépend de la fréquence variant de 25 Hz à 2 kHz. A partir des résultats, des courbes ont été déduites donnant la fonction de l'impédance totale du corps humain Z_T d'une population avec un pourcentage de 50 % pour des tensions de contact variant entre 10 V et 1 000 V et une plage de fréquences de 50 Hz à 2 kHz pour un trajet de courant main à main ou main à pied. Les courbes sont représentées à la Figure 12.

NOTE Aucune mesure n'a été effectuée dans des conditions humides et humides et salées.

4.5.4 Courant continu

La résistance totale du corps humain R_T en courant continu est plus élevée que l'impédance totale du corps humain Z_T en courant alternatif pour des tensions de contact jusqu'à environ 200 V en raison du pouvoir bloquant des capacités de la peau humaine.

Les mesures de l'impédance totale du corps humain effectuées en courant continu pour d'importantes surfaces de contact, en conditions sèches, sont décrites à l'Annexe C.

NOTE Aucune mesure n'a été effectuée dans des conditions humides et humides et salées.

Les valeurs de résistance totale du corps humain R_T en courant continu, déterminées selon la méthode décrite à l'Annexe C, sont présentées dans le Tableau 10 (voir Figure 13, lignes continues).

Pour des surfaces de contact importantes dans des conditions humides et humides et salées, la résistance totale du corps R_T peut être déterminée avec une précision suffisante à partir des Tableaux 2 et 3, en négligeant les petites variations de Z_T en courant continu et en courant alternatif pour des tensions de contact inférieures à 100 V. Dans tous les autres cas, les valeurs en courant alternatif peuvent être utilisées comme base conventionnelle.

Tableau 10 – Résistance totale du corps humain R_T pour un trajet de courant main à main en courant continu pour des surfaces de contact importantes dans des conditions sèches

Tension de contact V	Valeurs de résistance totale R_T (Ω) du corps humain qui ne sont pas dépassées par		
	5 % de la population	50 % de la population	95 % de la population
25	2 100	3 875	7 275
50	1 600	2 900	5 325
75	1 275	2 275	4 100
100	1 100	1 900	3 350
125	975	1 675	2 875
150	875	1 475	2 475
175	825	1 350	2 225
200	800	1 275	2 050
225	775	1 225	1 900
400	700	950	1 275
500	625	850	1 150
700	575	775	1 050
1 000	575	775	1 050
Valeur asymptotique	575	775	1 050

NOTE 1 Quelques mesures indiquent que la résistance totale du corps humain R_T pour un trajet de courant main à pied est un peu plus faible que pour un trajet main à main (10 % à 30 %).

NOTE 2 Pour des êtres vivants, les valeurs de R_T correspondent à une durée d'écoulement de courant d'environ 0,1 s. Pour des durées supérieures, les valeurs de R_T peuvent décroître (d'environ de 10 % à 20 %) et après claquage complet de la peau, la valeur de R_T est proche de celle de la résistance initiale du corps R_0 .

NOTE 3 Les valeurs de R_T sont arrondies à 25 Ω .

4.6 Valeur de la résistance initiale du corps humain (R_0)

La valeur de la résistance initiale du corps humain R_0 , pour un trajet de courant main à main ou main à pied et pour d'importantes surfaces de contact, peut être prise égale à 500 Ω pour un pourcentage de 5 % en courant alternatif et en courant continu. Les valeurs pour 50 % et 95 % de la population peuvent être prises égales respectivement à 750 Ω et à 1 000 Ω (analogues au Tableau 1). Les valeurs dépendent peu des surfaces de contact et des conditions de la peau.

NOTE Les valeurs pour la résistance initiale R_0 sont un peu plus faibles que la valeur asymptotique de l'impédance totale du corps humain Z_T en courant alternatif 50/60 Hz, ainsi que la résistance totale du corps humain R_T en courant continu, parce qu'au moment du contact, les capacités de la peau et la capacité interne du corps sont déchargées.

5 Effets du courant alternatif de fréquence comprise entre 15 Hz et 100 Hz

Cet article décrit les effets du courant électrique passant par le corps humain pour les courants alternatifs de fréquence comprise entre 15 Hz et 100 Hz.

NOTE A moins qu'il n'en soit spécifié autrement, les valeurs de courant définies ci-après sont des valeurs efficaces.

Des exemples de courants de contact et leurs effets sont présentés à la Figure 20.

5.1 Seuil de perception

Ce seuil dépend de plusieurs paramètres, tels que la surface du corps en contact avec une électrode (surface de contact), les conditions de contact (sèches, humides, pression, température), ainsi que des caractéristiques physiologiques de l'individu.

5.2 Seuil de réaction

Ce seuil dépend de plusieurs paramètres, tels que la surface du corps en contact avec une électrode (surface de contact), les conditions de contact (sèches, humides, pression, température), ainsi que des caractéristiques physiologiques de l'individu.

Une valeur générale de 0,5 mA est prise en considération dans cette spécification technique, quel que soit le temps, pour le seuil de réaction.

5.3 Immobilisation

Dans le présent document, une immobilisation signifie que les effets du courant électrique sont tels que le corps humain (ou une partie) ne peut bouger volontairement.

Les effets sur les muscles peuvent être dus à un écoulement du courant dans les muscles affectés ou dans les nerfs associés ou dans la partie associée du cerveau.

Les valeurs du courant entraînant une immobilisation dépendent du volume des muscles affectés, du type de nerfs concernés et des parties du cerveau affectées par le courant.

5.4 Seuil de non-lâcher

Le seuil de non-lâcher dépend de plusieurs paramètres, tels que la surface de contact, la forme et les dimensions des électrodes ainsi que des caractéristiques physiologiques de la personne.

Une valeur d'environ 10 mA est prise en considération dans cette spécification technique pour les adultes mâles.

Dans le présent document, une valeur d'environ 5 mA couvre l'ensemble de la population (pour des informations complémentaires, voir la Figure 23).

5.5 Seuil de fibrillation ventriculaire

Le seuil de fibrillation ventriculaire dépend autant de paramètres physiologiques (anatomie du corps, état des fonctions cardiaques, etc.) que de paramètres électriques (durée et parcours du courant, paramètres du courant, etc.). Une description de l'activité du cœur est donnée dans les Figures 17 et 18.

En courant alternatif sinusoïdal (50 Hz ou 60 Hz), le seuil de fibrillation décroît considérablement si la durée de passage du courant est prolongée au-delà d'un cycle cardiaque. Cet effet résulte de l'augmentation de l'hétérogénéité de l'état d'excitation du cœur dû aux extrasystoles produites par le courant.

Pour des durées de choc inférieures à 0,1 s, la fibrillation peut se produire pour des courants d'intensité supérieure à 500 mA et est probable pour un courant d'intensité de l'ordre de plusieurs ampères, seulement si le choc se produit pendant la période vulnérable. Pour des chocs de même intensité et de durée supérieure à un cycle cardiaque, un arrêt cardiaque réversible peut se produire.

Pour des durées de passage de courant plus longues qu'un cycle cardiaque, la Figure 19 présente une comparaison entre les seuils de fibrillation ventriculaire effectués par expérience sur des animaux et pour les êtres humains calculés d'après les statistiques d'accidents électriques.

En adaptant les résultats des expériences effectuées sur des animaux aux êtres humains, une courbe c_1 (voir Figure 20) a été établie pour un trajet du courant allant de la main gauche aux deux pieds, en dessous de laquelle la fibrillation n'est pas susceptible de se produire. Le seuil élevé, pour de courtes durées d'exposition entre 10 ms et 100 ms, se situe sur une droite allant de 500 mA à 400 mA. Sur la base d'informations sur des accidents électriques, le seuil inférieur pour des durées supérieures à 1 s se situe sur une droite allant de 50 mA pour 1 s à 40 mA pour des durées supérieures à 3 s. Les deux seuils sont reliés par une courbe continue.

L'évaluation statistique des expériences effectuées sur des animaux a permis le tracé des courbes c_2 et c_3 (voir Figure 20) définissant des probabilités respectives de fibrillation de 5 % et de 50 %. Les courbes c_1 , c_2 et c_3 s'appliquent pour un trajet du courant allant de la main gauche aux deux pieds.

5.6 Autres effets du courant liés aux chocs électriques

D'autres effets électriques tels que des contractions musculaires, l'élévation de la pression du sang, des perturbations de la formation et de la conductivité des impulsions cardiaques (y compris la fibrillation auriculaire et des perturbations transitoires rythmiques) peuvent apparaître. De tels effets ne sont généralement pas mortels.

Avec des courants de plusieurs ampères pendant plusieurs secondes, des brûlures profondes et d'autres blessures internes peuvent apparaître. Des brûlures en surface peuvent aussi être vues.

Les accidents en haute tension n'entraînent généralement pas de fibrillation ventriculaire, donnant d'autres formes d'arrêt cardiaque. Cela est démontré par des statistiques et confirmé par des expériences sur des animaux. Toutefois, il n'existe pas actuellement suffisamment de données pour différencier des conditions analogues.

La fibrillation ventriculaire est mortelle car elle empêche l'écoulement du sang transportant l'oxygène. Les accidents électriques n'impliquant pas de fibrillation ventriculaire peuvent aussi être mortels. D'autres effets peuvent influencer la respiration et empêcher la personne d'appeler à l'aide. Ces mécanismes associés comprennent la perturbation fonctionnelle du contrôle respiratoire, la paralysie des muscles respiratoires, des dommages sur les parcours des neurones alimentant ces muscles et des dommages sur les mécanismes de contrôle respiratoire dans les poumons. Ces effets, s'ils sont permanents, conduisent inévitablement à la mort. Si la personne ne retourne pas à un effet respiratoire réversible, une aide respiratoire artificielle est nécessaire. Dans tous les cas, la personne risque de mourir. Si le courant s'écoule dans des parties critiques telles que la moelle épinière ou le centre de commande respiratoire, la mort peut survenir. Ces effets sont à l'étude et les seuils ne sont pas encore définis.

Les champs électriques élevés et franchissant les membranes peuvent entraîner des dommages pour les cellules telles que les cellules des muscles du squelette. Cela n'est pas un effet thermique. Ce fait a été observé par exemple avec des courants élevés et de durée courte (tels que courant de contact momentané avec des lignes de distribution à haute tension). Un champ électrique élevé à travers les membranes des cellules peut induire la formation de trous dans la membrane. Cet effet est appelé électroporation. Les trous peuvent être stables et se refermer ensuite, ou s'élargir, devenir instables et par suite entraîner la rupture des membranes des cellules. Les tissus sont définitivement détruits. Une nécrose des tissus peut apparaître, requérant souvent l'amputation des tissus lésés. L'électroporation n'est pas limitée à une valeur du courant, à un passage particulier du courant ou à une durée de l'écoulement.

Des blessures non électriques associées, telles que blessures traumatiques, peuvent être considérées.

5.7 Effets du courant sur la peau

La Figure 14 montre la dépendance des altérations de la peau humaine vis-à-vis de la densité de courant i_T (mA/mm²) et de la durée du passage de courant.

A titre de guide, les valeurs suivantes peuvent être données:

- en dessous de 10 mA/mm², en général, aucune altération de la peau n'est observée. Pour des durées plus importantes de passage de courant (plusieurs secondes), la peau située sous l'électrode peut devenir blanc-gris avec une surface rugueuse (zone 0);
- entre 10 mA/mm² et 20 mA/mm², une rougeur de la peau apparaît avec un gonflement en forme de vague de couleur blanchâtre le long des bords de l'électrode (zone 1);
- entre 20 mA/mm² et 50 mA/mm², une couleur brunâtre se développe sous l'électrode placée dans la peau. Pour des durées plus importantes de passage de courant (plusieurs dizaines de secondes), des marques de courant nettes (boursouflures) sont observées autour de l'électrode (zone 2);
- au-dessus de 50 mA/mm², une carbonisation de la peau peut se produire (zone 3);
- pour les zones de contact importantes, les densités de courant peuvent être suffisamment faibles de telle manière qu'aucune altération de la peau ne se produise bien que les intensités soient mortelles.

5.8 Descriptions des zones temps/courant (voir Figure 20)

Tableau 11 – Zones temps/courant en tension alternative 15 Hz à 100 Hz pour un trajet main à pied – Description des zones de la Figure 20

Zones	Limites	Effets physiologiques
AC-1	Jusqu'à 0,5 mA courbe a	Perception possible mais habituellement pas de réaction de choc
AC-2	De 0,5 mA jusqu'à la courbe b	Perception et éventuelles contractions musculaires involontaires mais habituellement sans effets physiologiques électriques nocifs
AC-3	Courbe b et au-dessus	Fortes contractions musculaires involontaires. Difficultés de respiration. Perturbations réversibles des fonctions du cœur. Une immobilisation peut se produire. Augmentation des effets avec la valeur du courant. Habituellement pas de dommages organiques
AC-4 ¹⁾	Au-dessus de la courbe c ₁ c ₁ -c ₂ c ₂ -c ₃ Au-delà de la courbe c ₃	Effets pathophysiologiques tels qu'arrêt du cœur, arrêt de la respiration, brûlures graves ou autres dommages cellulaires. Probabilité de fibrillation ventriculaire augmentant avec l'intensité du courant et le temps AC-4.1 Probabilité de fibrillation ventriculaire augmentant jusqu'à 5 % AC-4.2 Probabilité de fibrillation ventriculaire augmentant jusqu'à 50 % AC-4.3 Probabilité de fibrillation ventriculaire supérieure à 50 %
¹⁾ Pour des durées d'écoulement de courant inférieures à 200 ms, la fibrillation ventriculaire ne peut être initiée que pendant la période vulnérable si les seuils sont dépassés. Vis-à-vis de la fibrillation ventriculaire, cette figure décrit les effets du courant s'écoulant de la main gauche aux pieds. Pour les autres parcours, le facteur de courant du cœur est à considérer.		

5.9 Application du facteur de courant de cœur (*F*)

Le facteur de courant de cœur permet de calculer les courants I_h pour des parcours autres que main gauche aux pieds, qui représentent le même danger de fibrillation ventriculaire que ceux correspondant au courant de référence I_{ref} entre la main gauche et les deux pieds, indiqué à la Figure 20:

$$I_h = \frac{I_{ref}}{F}$$

où

I_{ref} est le courant passant de la main gauche aux deux pieds indiqué à la Figure 20;

I_h est le courant passant par le corps pour les trajets indiqués dans le Tableau 12;

F est le facteur de courant de cœur indiqué dans le Tableau 12.

NOTE Le facteur de courant de cœur est à considérer comme une estimation approximative des dangers correspondant aux différents trajets du courant du point de vue de la fibrillation ventriculaire.

Pour les différents trajets du courant, le facteur de courant de cœur a la valeur indiquée dans le Tableau 12.

Tableau 12 – Facteur de courant de cœur F pour différents trajets du courant

Trajet de courant	Facteur de courant de cœur F
Main gauche au pied gauche, au pied droit ou aux deux pieds	1,0
Deux mains aux deux pieds	1,0
Main gauche à la main droite	0,4
Main droite au pied gauche, au pied droit ou aux deux pieds	0,8
Dos à la main droite	0,3
Dos à la main gauche	0,7
Poitrine à la main droite	1,3
Poitrine à la main gauche	1,5
Siège à la main gauche, à la main droite ou aux deux mains	0,7
Pied gauche à pied droit	0,04

EXEMPLE Un courant de 225 mA main à main a le même effet de fibrillation ventriculaire qu'un courant de 90 mA main gauche aux deux pieds.

6 Effets du courant continu

Cet article décrit les effets du courant continu passant à travers le corps humain.

NOTE 1 Le terme « courant continu » signifie un courant continu lisse. Toutefois, en ce qui concerne les effets de la fibrillation, les valeurs indiquées dans cet article sont considérées comme base conventionnelle pour des courants continus dont le taux d'ondulation sinusoïdal n'est pas supérieur à 10 % en valeur efficace.

NOTE 2 L'influence des ondulations est traitée dans le chapitre 5 de la CEI 60479-2.

NOTE 3 Pour des durées d'écoulement du courant inférieures à 10 ms, voir l'article 6 de la CEI 60479-2.

Un exemple de courant de contact et de ses effets est présenté à la Figure 21.

6.1 Seuil de perception et seuil de réaction

Ces seuils dépendent de plusieurs paramètres tels que la surface de contact, les conditions de contact (sécheresse, humidité, pression, température), la durée de passage du courant ainsi que des caractéristiques physiologiques de l'individu. A la différence du courant alternatif, seuls l'établissement et l'interruption du courant sont perçus et aucune autre sensation n'est ressentie pendant le passage du courant au niveau du seuil de perception. Dans des conditions semblables à celles qui sont définies pour le courant alternatif, le seuil de perception est d'environ 2 mA.

6.2 Seuil d'immobilisation et seuil de non-lâcher

A la différence du courant alternatif, il n'est pas possible de définir un seuil de non-lâcher en courant continu. Seuls l'établissement et l'interruption du courant provoquent des douleurs et des contractions musculaires.

6.3 Seuil de fibrillation ventriculaire

Comme il est décrit pour le courant alternatif (voir 5.5), le seuil de fibrillation ventriculaire produit par le courant continu dépend aussi bien de conditions physiologiques que de paramètres électriques.

L'information issue d'accidents électriques semble indiquer que le danger de fibrillation ventriculaire n'existe que pour les courants longitudinaux. Pour les courants transversaux l'expérimentation sur des animaux a montré que la fibrillation ventriculaire peut apparaître pour des intensités plus élevées.

Des expériences effectuées sur des animaux et des informations provenant d'accidents électriques montrent que le seuil de fibrillation ventriculaire pour un courant descendant est environ deux fois plus grand que pour un courant montant.

Pour des durées de choc supérieures à la durée du cycle cardiaque, le seuil de fibrillation en courant continu est plusieurs fois plus grand qu'en courant alternatif. Pour des durées de choc inférieures à 200 ms, le seuil de fibrillation est approximativement le même qu'en courant alternatif exprimé en valeur efficace.

Les courbes issues d'expériences sur des animaux ont été élaborées avec un courant longitudinal et montant (pied positif). Les courbes c_2 et c_3 de la Figure 22 montrent les associations calculées pour des intensités et des durées de probabilité de fibrillation ventriculaire de 5 % à 50 % de la population animale avec un trajet de courant longitudinal dans le corps (par exemple d'une patte avant aux deux pattes arrières). La courbe c_1 montre les associations de courants et de durées en dessous desquelles la probabilité de fibrillation ventriculaire est estimée très faible pour un même trajet longitudinal du courant dans le corps humain à partir des études effectuées sur des animaux. Des études récentes montrent que le seuil de fibrillation ventriculaire pour les hommes est supérieur à l'intensité du courant, par comparaison avec les animaux et pour chaque durée. Par exemple, le seuil de courant main gauche/pied pour un homme sain est de l'ordre de 200 mA pour des durées de passage longues du courant. Toutefois, tous les hommes ne sont pas sains et des maladies peuvent affecter le seuil de fibrillation ventriculaire. Des personnes malades du cœur ont des seuils de fibrillation ventriculaire en dessous de la norme, mais la valeur de la réduction n'est pas exactement connue. C'est pourquoi il est recommandé que la courbe c_1 donnée dans la figure se fondant sur des études animales soit utilisée pour le seuil de fibrillation ventriculaire des humains comme base conventionnelle. Il n'y a pas d'accident électrique démontré avec électrocution pour un point en dessous de la courbe c_1 . Cela montre que la courbe c_1 est correcte pour les humains. Pour des courants longitudinaux descendants (pied négatif), les courbes doivent être décalées vers une intensité plus importante avec un facteur d'environ 2.

6.4 Autres effets du courant

Au-dessus de 100 mA environ, une sensation de chaleur peut être ressentie dans les extrémités pendant le passage du courant. À l'intérieur de la zone de contact, des sensations douloureuses sont ressenties dans la peau.

Les courants transversaux d'intensité au plus égale à 300 mA passant à travers le corps humain pendant plusieurs minutes peuvent provoquer des arythmies cardiaques réversibles, des marques de courant, des brûlures, des vertiges et parfois l'inconscience. Au-dessus de 300 mA, l'inconscience se produit fréquemment.

Pour des courants de plusieurs ampères pendant plusieurs secondes des brûlures profondes, des blessures et même la mort sont susceptibles de se produire.

Des effets tels qu'électroporation (voir 5.6) peuvent être dus à des contacts avec des circuits alternatifs ou continus.

Il est recommandé de considérer aussi la probabilité de blessures traumatiques.

6.5 Descriptions des zones temps/courant (voir Figure 22)

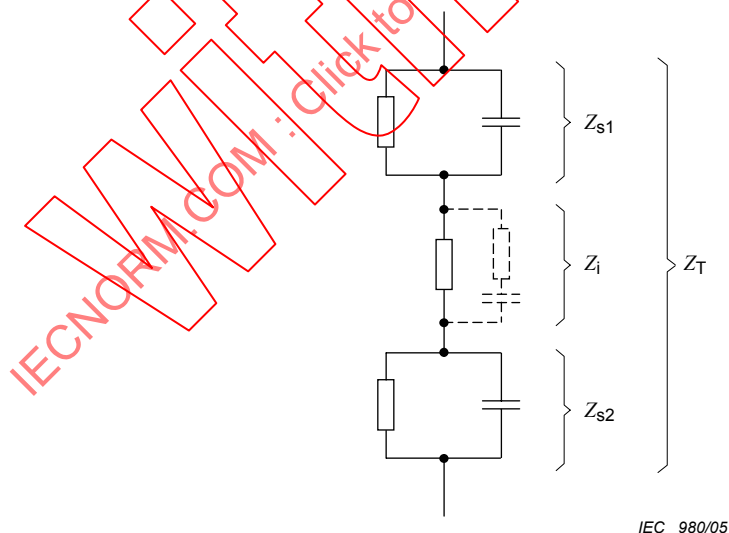
Tableau 13 – Zones temps/courant en courant continu pour un trajet main à pied – Description des zones de la Figure 22

Zones	Limites	Effets physiologiques
DC-1	Jusqu'à 2mA courbe a	Légère sensation de picotement possible à l'établissement, à l'interruption ou à des altérations rapides du courant
DC-2	De 2 mA jusqu'à la courbe b	Contractions musculaires involontaires à l'établissement, à l'interruption ou à des altérations rapides du courant, mais habituellement pas d'effets physiologiques électriques nocifs
DC-3	Courbe b et au-dessus	Fortes contractions musculaires involontaires et perturbations réversibles de formation et de conduction des impulsions du cœur augmentant avec l'intensité du courant et le temps. Habituellement pas de dommages organiques
DC-4 ¹⁾	Au-dessus de la courbe c_1 c_1-c_2 c_2-c_3 Au-delà de la courbe c_3	Effets pathophysiologiques tels qu'arrêt du cœur, arrêt de la respiration, brûlures graves ou autres dommages cellulaires. Probabilité de fibrillation ventriculaire augmentant avec l'intensité du courant et le temps DC-4.1 Probabilité de fibrillation ventriculaire augmentant jusqu'à 5 % DC-4.2 Probabilité de fibrillation ventriculaire augmentant jusqu'à 50 % DC-4.3 Probabilité de fibrillation ventriculaire supérieure à 50 %

¹⁾ Pour des durées d'écoulement de courant inférieures à 200 ms, la fibrillation ventriculaire ne peut être initiée que pendant la période vulnérable si les seuils sont dépassés. Vis-à-vis de la fibrillation ventriculaire, cette figure décrit les effets du courant s'écoulant de la main gauche aux pieds et pour un courant montant. Pour les autres parcours, le facteur de courant du cœur doit être considéré.

6.6 Facteur de cœur

Le facteur de cœur F est applicable en courant continu comme en courant alternatif (voir 5.8).



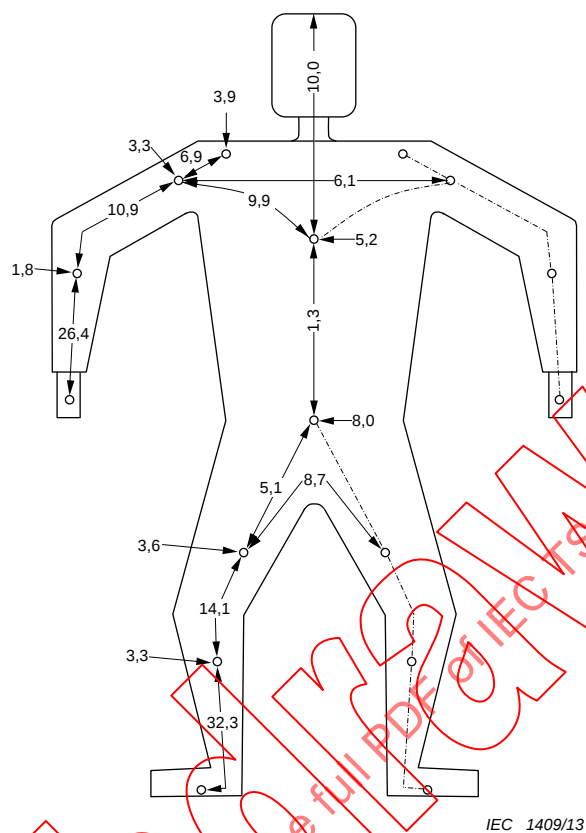
Légende

Z_i impédance interne

Z_{s1} , Z_{s2} impédances de la peau

Z_T impédance totale

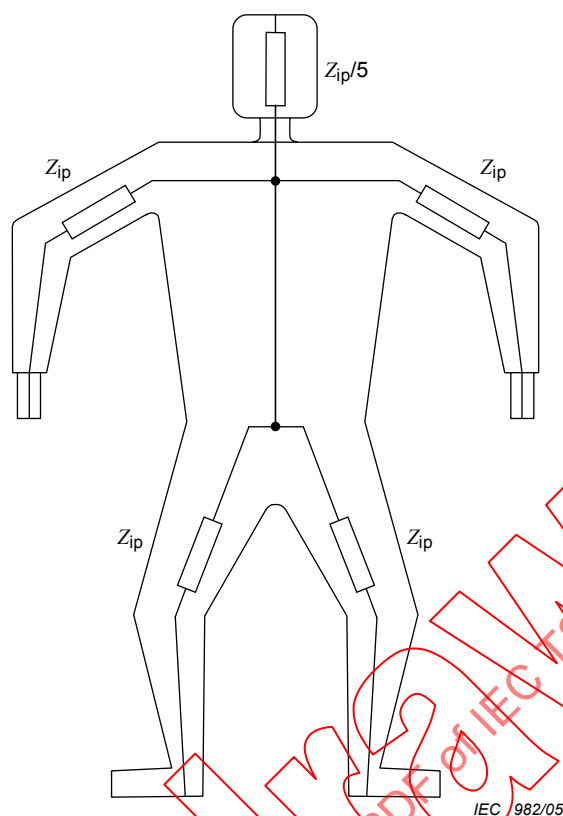
Figure 1 – Impédances du corps humain



Le nombre indique le pourcentage de l'impédance interne d'un corps humain pour la partie du corps concernée, avec un trajet de courant de main vers pied.

NOTE Afin de calculer l'impédance totale du corps Z_T pour un trajet de courant donné, les impédances internes partielles Z_{ip} pour toutes les parties du corps pour le trajet du courant ont été additionnées, ainsi que les impédances de la peau et des surfaces de contact. Les nombres indiqués à l'extérieur du corps montrent les portions internes des impédances à ajouter au total quand le courant entre à ce point.

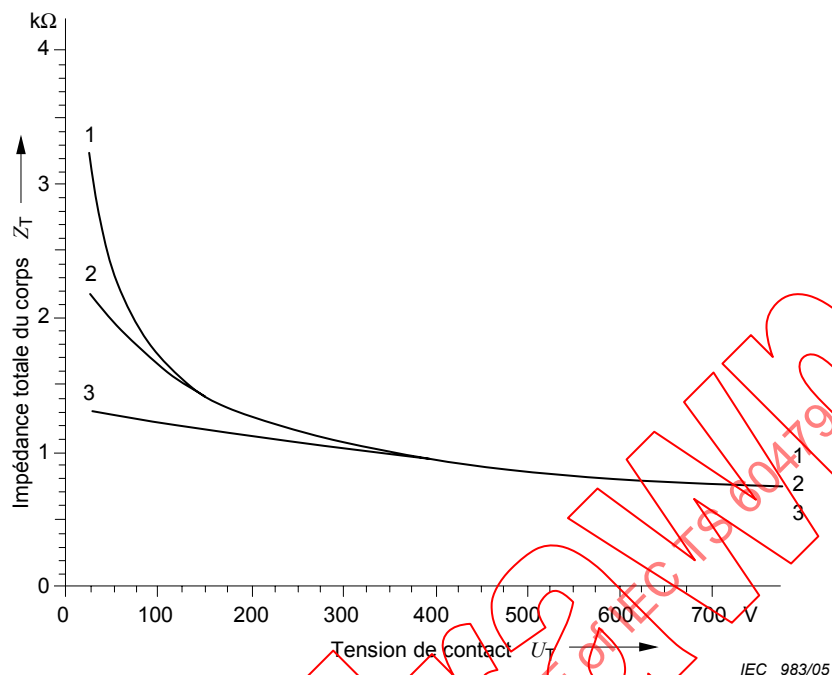
Figure 2 – Impédances internes partielles Z_{ip} du corps humain

**Légende**

Z_{ip} impédance interne partielle d'une extrémité (bras ou jambe)

NOTE L'impédance interne correspondant à un trajet d'une main vers les deux pieds est d'environ 75 %, celle correspondant à un trajet des deux mains vers les deux pieds à 50 % et celle correspondant à un trajet des deux mains vers le tronc 25 % de l'impédance de main à main ou de main à pied.

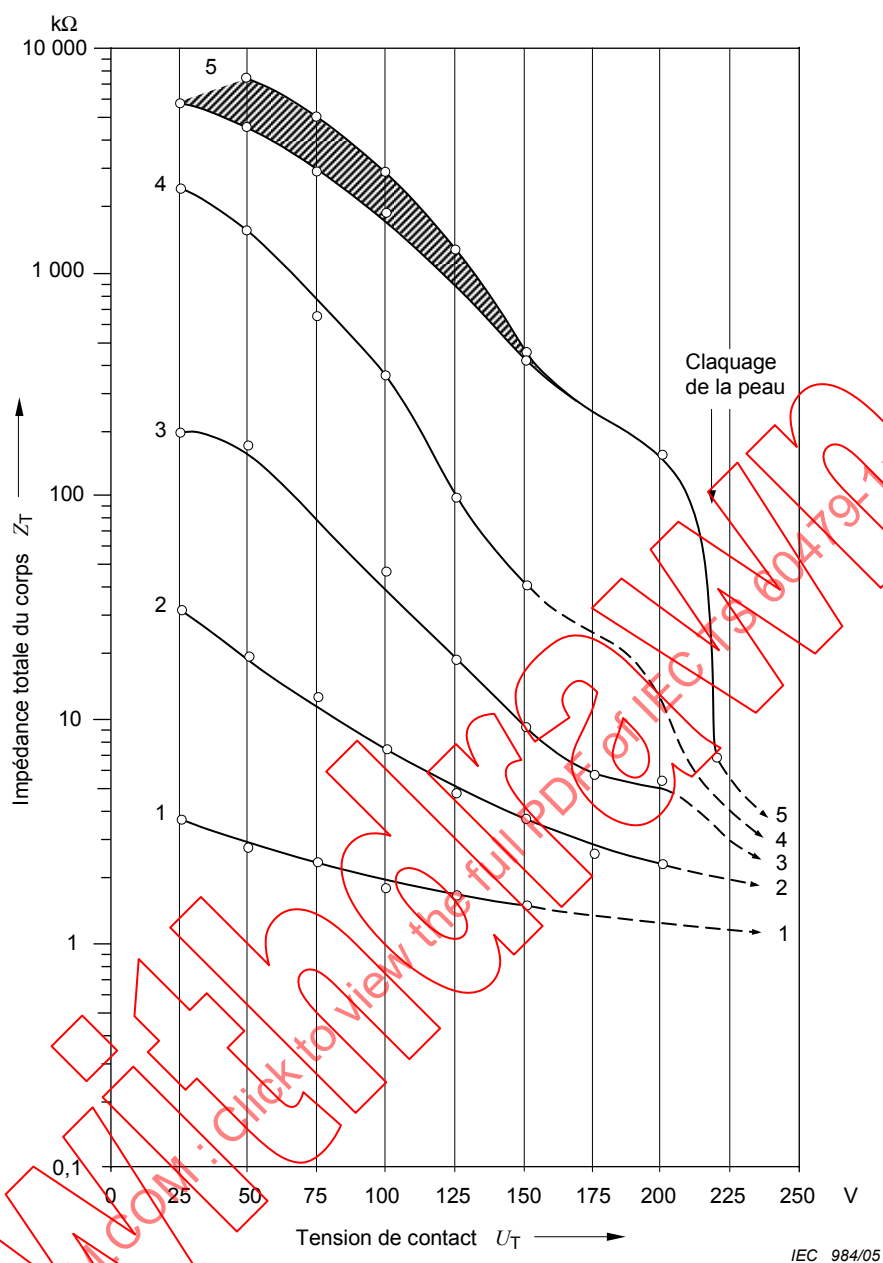
Figure 3 – Diagramme simplifié des impédances internes du corps humain



Légende

- 1 conditions sèches (Tableau 1)
- 2 conditions humides (Tableau 2)
- 3 conditions humides et salées (Tableau 3)

Figure 4 – Impédance totale du corps Z_T (50 %) pour un trajet du courant de main à main, pour des surfaces de contact importantes, dans des conditions sèches, humides et humides et salées pour un pourcentage de la population de 50 %, avec des tensions de contact U_T de 25 V à 700 V en courant alternatif 50/60 Hz



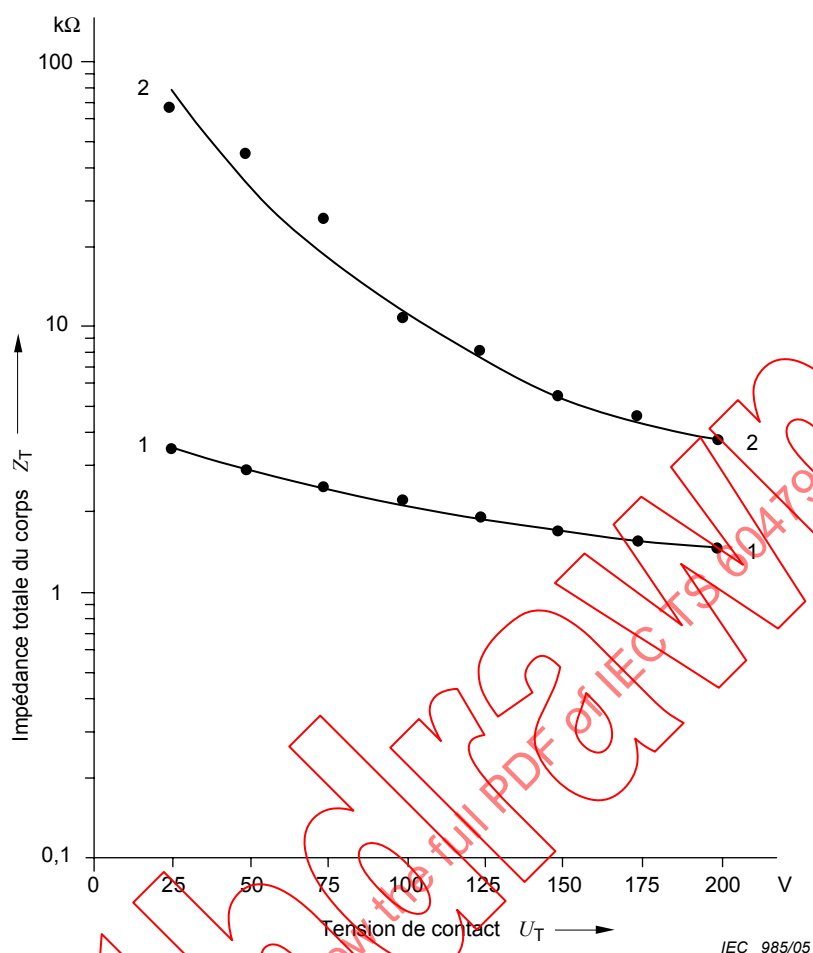
Légende

(Pour des informations complémentaires, voir l'Annexe D)

1 Surface de contact	8 200 mm ²
2 Surface de contact	1 250 mm ²
3 Surface de contact	100 mm ²
4 Surface de contact	10 mm ²
5 Surface de contact	1 mm ²

(Claquage de la peau à 220 V)

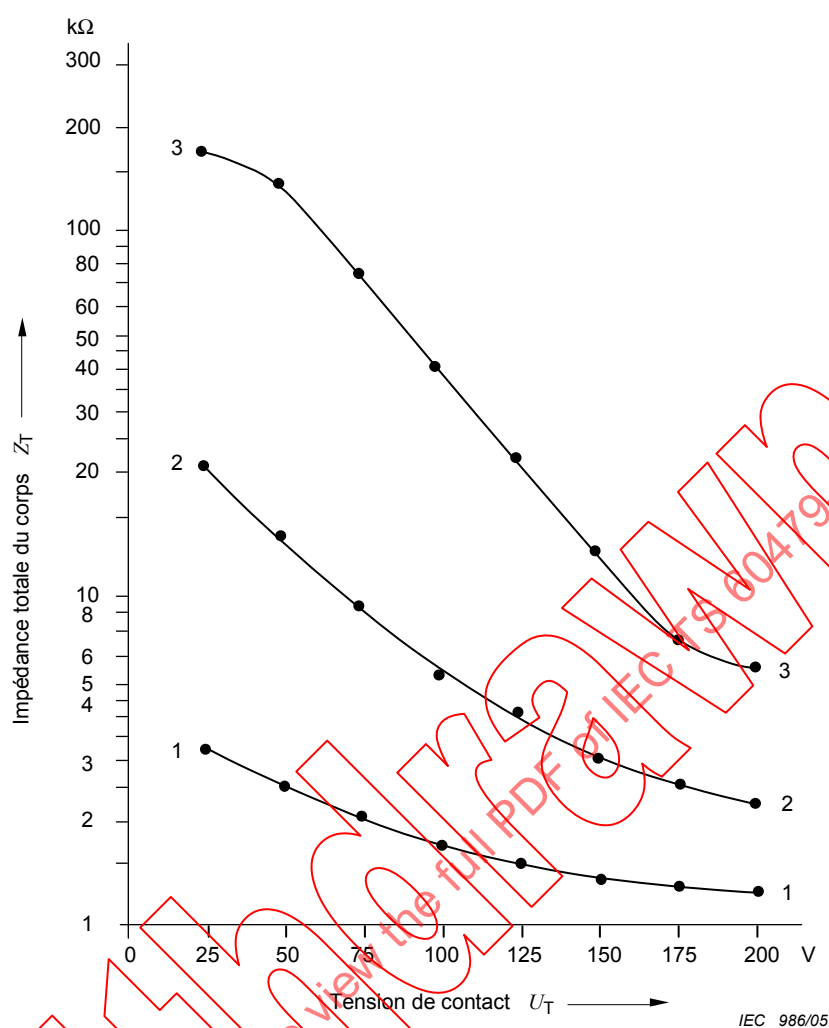
Figure 5 – Assujettissement de l'impédance totale Z_T d'une personne vivante à la surface de contact dans des conditions sèches et à la tension de contact (50 Hz)



Légende

- 1 surface de contact importante (environ 8 000 mm²), trajet du courant de main à main
- 2 surface des extrémités des doigts (environ 250 mm²), trajet du courant de l'extrémité de l'index droit vers l'index gauche

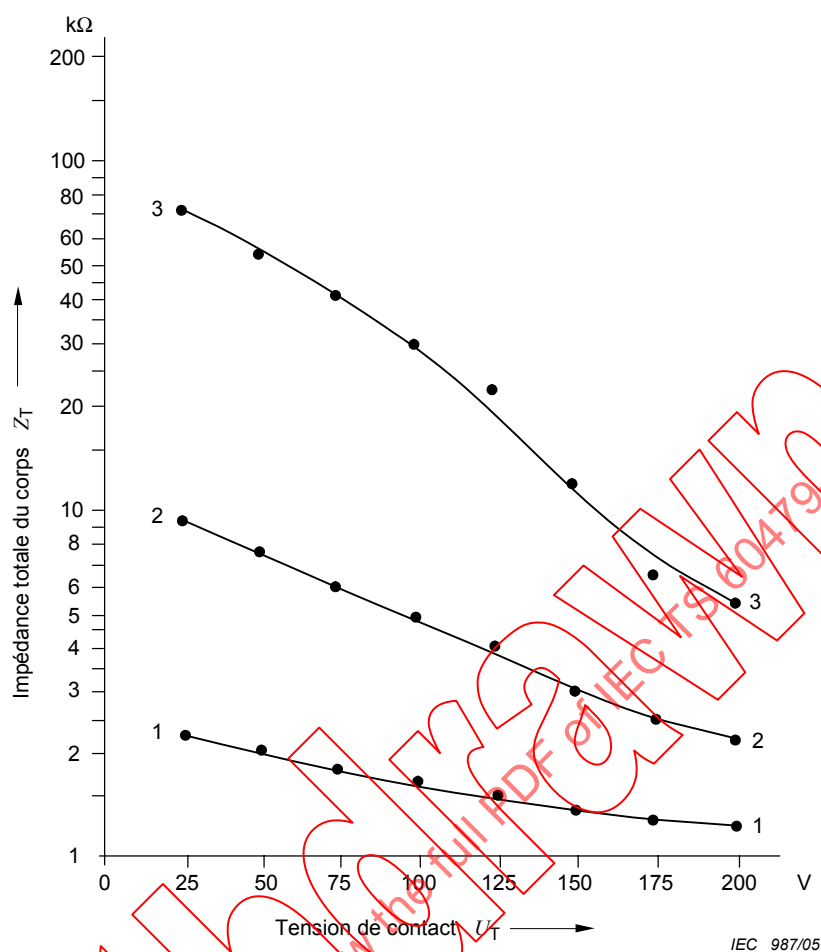
Figure 6 – Assujettissement de l'impédance totale du corps Z_T à la tension de contact U_T pour un trajet du courant depuis l'extrémité de l'index gauche vers l'index droit comparée à des surfaces de contact importantes depuis la main droite vers la main gauche, dans des conditions sèches, mesurées sur une personne vivante avec une tension de contact U_T variant de 25 V à 200 V en courant alternatif (50 Hz), d'une durée maximale de l'écoulement du courant de 25 ms



Légende

- 1 surfaces de contact importantes, électrodes de type A (ordre de grandeur de 10 000 mm²), conformément au Tableau 1
- 2 surfaces de contact moyennes, électrodes de type B (ordre de grandeur de 1 000 mm²), conformément au Tableau 5
- 3 surfaces de contact faibles, électrodes de type C (ordre de grandeur de 100 mm²), conformément au Tableau 8

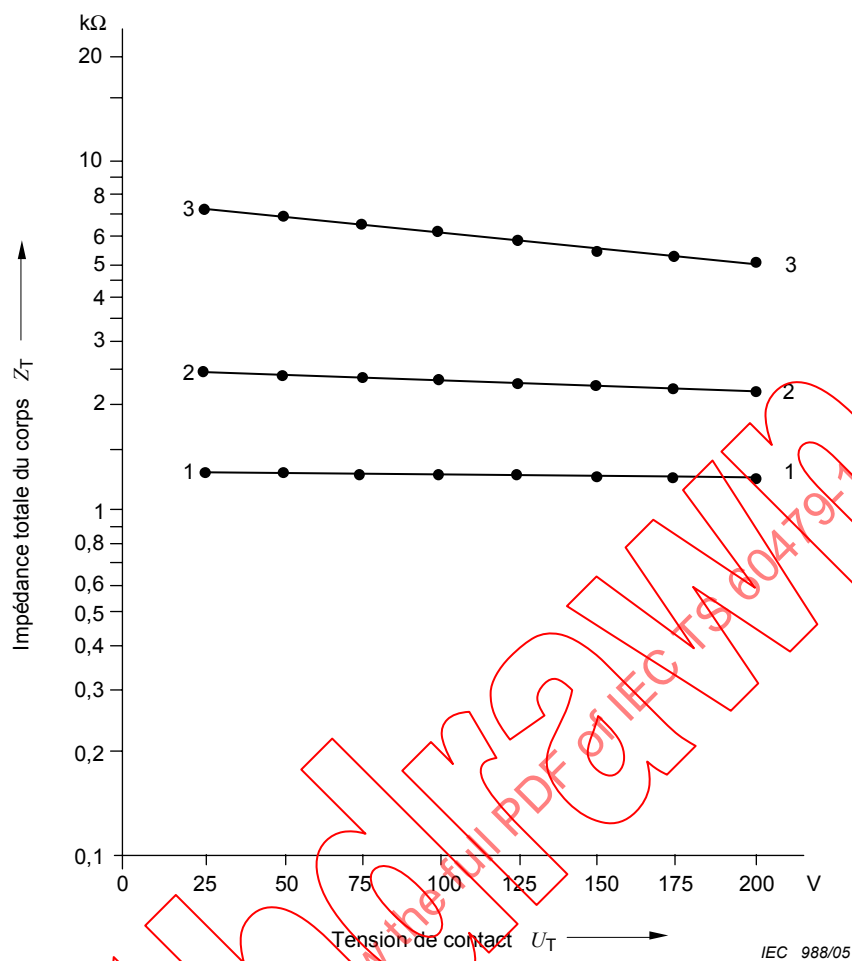
Figure 7 – Assujettissement de l'impédance totale du corps Z_T pour un pourcentage de 50 % de la population de personnes vivantes pour des surfaces de contact importantes, moyennes et faibles (respectivement d'environ 10 000 mm², 1 000 mm² et 100 mm²) dans des conditions sèches avec des tensions de contact U_T variant de 25 V à 200 V en courant alternatif (50/60 Hz)



Légende

- 1 surfaces de contact importantes, électrodes de type A (ordre de grandeur de 10 000 mm²), conformément au Tableau 2
- 2 surfaces de contact moyennes, électrodes de type B (ordre de grandeur de 1 000 mm²), conformément au Tableau 6
- 3 surfaces de contact faibles, électrodes de type C (ordre de grandeur de 100 mm²), conformément au Tableau 9

Figure 8 – Assujettissement de l'impédance totale du corps Z_T pour un pourcentage de 50 % de la population de personnes vivantes pour des surfaces de contact importantes, moyennes et faibles (respectivement d'environ 10 000 mm², 1 000 mm² et 100 mm²) dans des conditions humides avec des tensions de contact U_T variant de 25 V à 200 V en courant alternatif (50/60 Hz)



Légende

- 1 surfaces de contact importantes, électrodes de type A (ordre de grandeur de 10 000 mm²), conformément au Tableau 3
- 2 surfaces de contact moyennes, électrodes de type B (ordre de grandeur de 1 000 mm²), conformément au Tableau 7
- 3 surfaces de contact faibles, électrodes de type C (ordre de grandeur de 100 mm²), conformément au Tableau 10

Figure 9 – Assujettissement de l'impédance totale du corps Z_T pour un pourcentage de 50 % de la population de personnes vivantes pour des surfaces de contact importantes, moyennes et faibles (respectivement d'environ 10 000 mm², 1 000 mm² et 100 mm²) dans des conditions humides et salées avec des tensions de contact U_T variant de 25 V à 200 V en courant alternatif (50/60 Hz)