

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE

BASIC EMC PUBLICATION  
PUBLICATION FONDAMENTALE EN CEM

**Electromagnetic compatibility (EMC) –  
Part 4-2: Testing and measurement techniques – Electrostatic discharge  
immunity test**

**Compatibilité électromagnétique (CEM) –  
Partie 4-2: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux décharges  
électrostatiques**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61000-4-2:2025



## THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2025 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

### About the IEC

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

### About IEC publications

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

#### IEC publications search - [webstore.iec.ch/advsearchform](http://webstore.iec.ch/advsearchform)

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

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

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

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

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

#### IEC Products & Services Portal - [products.iec.ch](http://products.iec.ch)

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

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

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

### A propos de l'IEC

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

### A propos des publications IEC

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

#### Recherche de publications IEC -

[webstore.iec.ch/advsearchform](http://webstore.iec.ch/advsearchform)

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

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

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

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

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

#### IEC Products & Services Portal - [products.iec.ch](http://products.iec.ch)

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

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

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

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE

BASIC EMC PUBLICATION  
PUBLICATION FONDAMENTALE EN CEM

**Electromagnetic compatibility (EMC) –  
Part 4-2: Testing and measurement techniques – Electrostatic discharge  
immunity test**

**Compatibilité électromagnétique (CEM) –  
Partie 4-2: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux décharges  
électrostatiques**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

ICS 33.100.20

ISBN 978-2-8327-0258-1

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

## CONTENTS

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| FOREWORD.....                                                                | 6  |
| INTRODUCTION.....                                                            | 8  |
| 1 Scope.....                                                                 | 9  |
| 2 Normative references.....                                                  | 9  |
| 3 Terms, definitions and abbreviated terms .....                             | 10 |
| 3.1 Terms and definitions .....                                              | 10 |
| 3.2 Abbreviated terms .....                                                  | 12 |
| 4 General .....                                                              | 12 |
| 5 Test levels.....                                                           | 13 |
| 6 Test equipment.....                                                        | 13 |
| 6.1 Overview.....                                                            | 13 |
| 6.2 ESD generator .....                                                      | 14 |
| 6.2.1 General .....                                                          | 14 |
| 6.2.2 General characteristics .....                                          | 16 |
| 6.3 Calibration of the characteristics of the ESD generator.....             | 17 |
| 6.3.1 General .....                                                          | 17 |
| 6.3.2 Equipment required for ESD generator calibration.....                  | 18 |
| 6.3.3 Setup for ESD generator current waveform calibration .....             | 18 |
| 6.3.4 Procedure for the ESD generator calibration .....                      | 19 |
| 7 Test setup .....                                                           | 20 |
| 7.1 General.....                                                             | 20 |
| 7.2 Test equipment .....                                                     | 20 |
| 7.2.1 General .....                                                          | 20 |
| 7.2.2 Verification of the ESD test equipment.....                            | 21 |
| 7.3 Test setup for tests performed in laboratories .....                     | 21 |
| 7.3.1 General .....                                                          | 21 |
| 7.3.2 Test conditions .....                                                  | 21 |
| 7.3.3 Table-top equipment .....                                              | 22 |
| 7.3.4 Floor-standing equipment.....                                          | 23 |
| 7.3.5 Particular requirements for ungrounded equipment .....                 | 24 |
| 8 Test procedure .....                                                       | 27 |
| 8.1 General.....                                                             | 27 |
| 8.2 Laboratory reference conditions .....                                    | 27 |
| 8.2.1 Climatic conditions.....                                               | 27 |
| 8.2.2 Electromagnetic conditions.....                                        | 28 |
| 8.3 Execution of the test .....                                              | 28 |
| 8.3.1 EUT exercising .....                                                   | 28 |
| 8.3.2 Direct application of discharges to the EUT .....                      | 29 |
| 8.3.3 Indirect application of the discharge .....                            | 30 |
| 9 Test report.....                                                           | 31 |
| Annex A (informative) Explanatory notes .....                                | 32 |
| A.1 General considerations.....                                              | 32 |
| A.2 Influences of the environmental conditions on the levels of charge ..... | 32 |
| A.3 ESD phenomenon from charged human body.....                              | 33 |
| A.4 Air discharge phenomena .....                                            | 34 |
| A.5 Variations in air discharge .....                                        | 34 |

|         |                                                                                                   |    |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| A.6     | Temperature and humidity of air discharge .....                                                   | 34 |
| A.7     | Relevance of contact discharge test .....                                                         | 35 |
| A.8     | Selection of test levels .....                                                                    | 35 |
| A.9     | Selection of elements for the ESD generator.....                                                  | 36 |
| A.10    | Rationale related to the generator specification.....                                             | 36 |
| A.11    | Rationale related to the waveform specification.....                                              | 36 |
| Annex B | (normative) Calibration of the current measurement system .....                                   | 37 |
| B.1     | Current target specification – input impedance.....                                               | 37 |
| B.2     | Current target specification – insertion loss.....                                                | 37 |
| B.2.1   | Measurement chain.....                                                                            | 37 |
| B.2.2   | Target adapter line.....                                                                          | 38 |
| B.2.3   | Determining the insertion loss of a current target-attenuator-cable chain .....                   | 38 |
| B.3     | Determining the low-frequency transfer impedance of a target-attenuator-cable chain.....          | 39 |
| Annex C | (informative) Example of a calibration target meeting the requirements of Annex B .....           | 41 |
| Annex D | (informative) Radiated fields from human metal discharge and ESD generators .....                 | 46 |
| D.1     | Overview of the processes causing intended and unintended fields .....                            | 46 |
| D.1.1   | General .....                                                                                     | 46 |
| D.1.2   | Human ESD .....                                                                                   | 46 |
| D.1.3   | ESD generator .....                                                                               | 47 |
| D.2     | EUT response to ESD testing .....                                                                 | 48 |
| D.3     | Transient fields of ESD reference event.....                                                      | 48 |
| D.4     | Induced voltage in a small loop.....                                                              | 50 |
| D.5     | Measuring radiated fields due to an ESD by using commercial field probes and ESD generators ..... | 51 |
| D.6     | Simple procedure to estimate radiated fields and voltages induced by ESD generators .....         | 53 |
| Annex E | (informative) Selection of test points and number of pulses .....                                 | 55 |
| E.1     | General.....                                                                                      | 55 |
| E.2     | Exclusions .....                                                                                  | 55 |
| E.3     | Guidance for direct contact discharges .....                                                      | 56 |
| E.4     | Guidance for air discharges.....                                                                  | 56 |
| E.5     | Guidance for indirect discharges .....                                                            | 57 |
| E.6     | Investigatory testing .....                                                                       | 57 |
| E.7     | Number of pulses for direct contact discharges .....                                              | 58 |
| Annex F | (informative) Measurement uncertainty (MU) considerations.....                                    | 59 |
| F.1     | General.....                                                                                      | 59 |
| F.2     | Legend for contact and air discharge current waveform parameters.....                             | 59 |
| F.3     | Limitations .....                                                                                 | 60 |
| F.4     | Calculation of a coverage interval.....                                                           | 60 |
| F.5     | Uncertainty contributors to the ESD current discharge measurement uncertainty .....               | 61 |
| F.6     | Uncertainty of the ESD generator current discharge measurement .....                              | 61 |
| F.6.1   | General .....                                                                                     | 61 |
| F.6.2   | Rise time of the ESD current discharge .....                                                      | 61 |
| F.6.3   | First peak of the ESD current discharge.....                                                      | 63 |
| F.6.4   | Second peak of the ESD current discharge.....                                                     | 65 |
| F.6.5   | ESD current discharge at 30 ns or 60 ns.....                                                      | 66 |

|                       |                                                                                                                                                                                             |    |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| F.6.6                 | Further MU contributions to time measurements .....                                                                                                                                         | 68 |
| F.7                   | Rise time of the step response and bandwidth of the frequency response of the measuring system .....                                                                                        | 68 |
| F.8                   | Impulse peak distortion due to the limited bandwidth of the measuring system .....                                                                                                          | 69 |
| F.9                   | Application of uncertainties in the ESD compliance criterion .....                                                                                                                          | 70 |
| Annex G (informative) | Test setup for post-installation tests .....                                                                                                                                                | 71 |
| Annex H (normative)   | Escalation strategy .....                                                                                                                                                                   | 73 |
| H.1                   | Variations in EUT performance .....                                                                                                                                                         | 73 |
| H.2                   | Escalation strategy .....                                                                                                                                                                   | 73 |
| Annex I (normative)   | Additional or further test setup for particular kind of equipment .....                                                                                                                     | 74 |
| I.1                   | Wall-mounted equipment .....                                                                                                                                                                | 74 |
| I.2                   | Wearable devices .....                                                                                                                                                                      | 75 |
| Annex J (informative) | Wearable devices .....                                                                                                                                                                      | 76 |
| J.1                   | General .....                                                                                                                                                                               | 76 |
| J.2                   | Additional experimental test procedures for a wearable device .....                                                                                                                         | 77 |
| Annex K (informative) | Evaluation of test results .....                                                                                                                                                            | 78 |
| Bibliography          | .....                                                                                                                                                                                       | 79 |
| Figure 1              | – Simplified diagram of the ESD generator .....                                                                                                                                             | 14 |
| Figure 2              | – Ideal contact discharge current waveform at 4 kV .....                                                                                                                                    | 15 |
| Figure 3              | – Contact discharge tip of the ESD generator .....                                                                                                                                          | 17 |
| Figure 4              | – Air discharge tip of the ESD generator .....                                                                                                                                              | 17 |
| Figure 5              | – Arrangement for calibration of ESD generator performance .....                                                                                                                            | 19 |
| Figure 6              | – Example test setup for table-top equipment .....                                                                                                                                          | 23 |
| Figure 7              | – Example test setup for floor-standing equipment .....                                                                                                                                     | 24 |
| Figure 8              | – Example test setup for ungrounded table-top equipment .....                                                                                                                               | 26 |
| Figure 9              | – Example test setup for ungrounded floor-standing equipment .....                                                                                                                          | 27 |
| Figure A.1            | – Typical maximum values of electrostatic voltages to which operators and materials can be charged while operating in different environments outside an electrostatic protective area ..... | 33 |
| Figure B.1            | – Example target adapter line attached to current target .....                                                                                                                              | 38 |
| Figure B.2            | – Example front side of a current target .....                                                                                                                                              | 38 |
| Figure B.3            | – Example measurement of the insertion loss of a current target-attenuator-cable chain .....                                                                                                | 39 |
| Figure B.4            | – Example circuit diagram to determine the low-frequency system transfer impedance .....                                                                                                    | 40 |
| Figure C.1            | – Mechanical drawing of a coaxial target showing central brass part .....                                                                                                                   | 41 |
| Figure C.2            | – Mechanical drawing of a coaxial target showing PCB and resistors .....                                                                                                                    | 42 |
| Figure C.3            | – Mechanical drawing of a coaxial target showing PTFE part .....                                                                                                                            | 43 |
| Figure C.4            | – Mechanical drawing of a coaxial target showing the cover .....                                                                                                                            | 44 |
| Figure C.5            | – Mechanical drawing of a coaxial target showing the mechanical assembly .....                                                                                                              | 45 |
| Figure D.1            | – Electric field of a real human, holding metal, charged at 5 kV measured at 0,1 m distance and for a spark length of 0,7 mm .....                                                          | 49 |
| Figure D.2            | – Magnetic field of a real human, holding metal, charged at 5 kV, measured at 0,1 m distance and for a spark length of approximately 0,5 mm .....                                           | 49 |
| Figure D.3            | – Semi-circle loop on the ground plane .....                                                                                                                                                | 50 |

|                                                                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure D.4 – Voltages induced in a semi-loop .....                                                                                                                           | 50 |
| Figure D.5 – Example test setup to measure radiated ESD fields .....                                                                                                         | 51 |
| Figure D.6 – Comparison between measured (solid line) and calculated numerically (dot line) voltage drop on the loop for a distance of 45 cm .....                           | 52 |
| Figure D.7 – Comparison between calculated H-field from measured data (solid line) and H-field calculated by numerical simulation (dotted line) for a distance of 45 cm..... | 52 |
| Figure D.8 – Structure illuminated by radiated fields and equivalent circuit.....                                                                                            | 53 |
| Figure D.9 – Radiated H-fields .....                                                                                                                                         | 54 |
| Figure G.1 – Example of test setup for floor-standing equipment, post-installation tests .....                                                                               | 72 |
| Figure I.1 – Example of test setup for wall-mounted equipment on non-conductive surfaces .....                                                                               | 74 |
| Figure I.2 – Example of test setup for wall-mounted equipment on conductive surfaces .....                                                                                   | 75 |
| Figure J.1 – Example of air discharge current waveforms for locations on a 1 kV charged human body, discharged via an air discharge tip .....                                | 77 |
| Table 1 – Test levels.....                                                                                                                                                   | 13 |
| Table 2 – General ESD generator parameters .....                                                                                                                             | 16 |
| Table 3 – Discharge current waveform parameters .....                                                                                                                        | 16 |
| Table A.1 – Guidelines for the selection of the air discharge test levels from the human body.....                                                                           | 35 |
| Table E.1 – Cases for application of ESD on connectors.....                                                                                                                  | 56 |
| Table F.1 – Example uncertainty budget for ESD current discharge rise time ( $t_r$ ).....                                                                                    | 62 |
| Table F.2 – Example uncertainty budget for the first peak of the ESD current discharge ( $I_{p1}$ ).....                                                                     | 64 |
| Table F.3 – Example uncertainty budget for the second peak of the ESD current discharge ( $I_{p2}$ ) .....                                                                   | 65 |
| Table F.4 – Example of uncertainty budget for the ESD current discharge at 30 ns ( $I_{30}$ ) .....                                                                          | 66 |
| Table F.5 – Example uncertainty budget for the ESD current discharge at 60 ns ( $I_{60}$ ) .....                                                                             | 67 |
| Table F.6 – $\alpha$ factor – Formula (F.3) – of different unidirectional impulse responses corresponding to the same bandwidth of the system $B$ .....                      | 69 |
| Table J.1 – Example of waveform parameters to characterize discharge currents of the ESD generator, hand-held and body-mounted electrodes with a 1 kV charged voltage.....   | 77 |

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –****Part 4-2: Testing and measurement techniques –  
Electrostatic discharge immunity test**

## FOREWORD

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

IEC 61000-4-2 has been prepared by subcommittee 77B: High-frequency phenomena, of IEC technical committee 77: Electromagnetic compatibility. It is an International Standard.

It forms Part 4-2 of IEC 61000. It has the status of a basic EMC publication in accordance with IEC Guide 107.

This third edition cancels and replaces the second edition published in 2008. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) added a calibration requirement for ESD generators with air discharge tip;
- b) added a normative annex for test setups for particular kind of equipment (see Annex I);

- c) added an informative annex for wearable devices (see Annex J);
- d) added an informative annex on how to select test points and give guidance on how to specify the number of pulses for direct contact discharges (see Annex E);
- e) moved Clause 9 into a new informative annex (see Annex K);
- f) improved current calibration procedure;
- g) improved measurement uncertainty considerations with examples of uncertainty budgets;
- h) moved post-installation tests into a new informative Annex G since they cannot be performed in a controlled environment.

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

| Draft        | Report on voting |
|--------------|------------------|
| 77B/896/FDIS | 77B/897/RVD      |

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

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

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at [www.iec.ch/members\\_experts/refdocs](http://www.iec.ch/members_experts/refdocs). The main document types developed by IEC are described in greater detail at [www.iec.ch/publications](http://www.iec.ch/publications).

A list of all parts in the IEC 61000 series, published under the general title *Electromagnetic compatibility (EMC)*, can be found on the IEC website.

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

- reconfirmed,
- withdrawn, or
- revised.

## INTRODUCTION

IEC 61000-4 is a part of the IEC 61000 series, according to the following structure:

### **Part 1: General**

General consideration (introduction, fundamental principles)

Definitions, terminology

### **Part 2: Environment**

Description of the environment

Classification of the environment

Compatibility levels

### **Part 3: Limits**

Emission limits

Immunity limits (in so far as they do not fall under the responsibility of the product committees)

### **Part 4: Testing and measurement techniques**

Measurement techniques

Testing techniques

### **Part 5: Installation and mitigation guidelines**

Installation guidelines

Mitigation methods and devices

### **Part 6: Generic standards**

### **Part 9: Miscellaneous**

Each part is further subdivided into several parts, published either as international standards or as technical specifications or technical reports, some of which have already been published as sections. Others will be published with the part number followed by a dash and a second number identifying the subdivision (example: IEC 61000-6-1).

This part of IEC 61000 is an International Standard which gives immunity requirements and test procedures related to electrostatic discharge.

## **ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –**

### **Part 4-2: Testing and measurement techniques – Electrostatic discharge immunity test**

#### **1 Scope**

This part of IEC 61000 relates to the immunity requirements and test methods for electrical and electronic equipment subjected to static electricity discharges from operators directly and from personnel to adjacent objects. It additionally specifies ranges of test levels which relate to different environmental, and installation conditions and establishes test procedures.

The objective of this document is to establish a common and reproducible basis for evaluating the performance of electrical and electronic equipment when subjected to electrostatic discharges. In addition, it includes electrostatic discharges which can occur from personnel to objects near the equipment.

This document specifies:

- ideal waveform of the discharge current;
- range of test levels;
- test equipment;
- test setup;
- test procedure;
- calibration procedure;
- measurement uncertainty.

This document gives specifications for tests performed in laboratories and guidance to post-installation tests.

This document is not intended to specify the tests to be applied to particular apparatus or systems. The main aim is to give a general basic reference to all concerned product committees. The product committees remain responsible for the appropriate choice of the tests and the severity level to be applied to their equipment.

This document excludes tests intended to evaluate the ESD sensitivity of devices during handling and packaging. It is not intended for use in characterizing the performance of ESD protection circuits.

#### **2 Normative references**

There are no normative references in this document.

### 3 Terms, definitions and abbreviated terms

#### 3.1 Terms and definitions

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

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

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

##### 3.1.1

##### **accessible**

surfaces of the EUT which can be touched by means of the air discharge tip of the ESD generator

[SOURCE: IEC 60050-442:1998, 442-01-15, modified – “part” has been replaced by “surfaces of the EUT” and “standard test finger” has been replaced by “air discharge tip of the ESD generator”.]

##### 3.1.2

##### **air discharge method**

method of testing in which the charged tip of the test generator is moved towards the EUT until it touches the EUT

##### 3.1.3

##### **calibration**

set of operations which establishes, by reference to standards, the relationship which exists, under specified conditions, between an indication and a result of a measurement

Note 1 to entry: This term is based on the “uncertainty” approach.

Note 2 to entry: The relationship between the indications and the results of measurement can be expressed, in principle, by a calibration diagram.

[SOURCE: IEC 60050-311:2001, 311-01-09]

##### 3.1.4

##### **contact discharge method**

method of testing in which the tip of the test generator is kept in contact with the EUT or coupling plane and the discharge is actuated by the discharge switch within the generator

##### 3.1.5

##### **coupling plane**

metal sheet or plate, to which discharges are applied to simulate electrostatic discharge to objects adjacent to the EUT

##### 3.1.6

##### **degradation (in performance)**

undesired departure in the operational performance of any device, equipment or system from its intended performance

Note 1 to entry: The term “degradation” can apply to temporary or permanent failure.

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-01-19]

**3.1.7****direct application**

application of the discharge directly to the EUT

**3.1.8****electromagnetic compatibility****EMC**

ability of equipment or a system to function satisfactorily in its electromagnetic environment without introducing intolerable electromagnetic disturbances to anything in that environment

[SOURCE: IEC 60050-161:2018, 161-01-07]

**3.1.9****electrostatic discharge****ESD**

transfer of electric charge between bodies of different electric potential in proximity or through direct contact

Note 1 to entry: Literature and teaching generally refer to transfers of charge, although strictly speaking charge carriers (IEV 113-06-25) are transferred.

[SOURCE: IEC 60050-161:2014, 161-01-22]

**3.1.10****energy storage capacitor**

capacitor of the ESD generator representing the capacity of a human body charged to the test voltage value

Note 1 to entry: This element can be provided as a discrete component or a distributed capacitance.

**3.1.11****holding time**

interval of time within which the decrease of the test voltage due to leakage, prior to the discharge, is not greater than 10 %

**3.1.12****immunity (to a disturbance)**

ability of a device, equipment or system to perform without degradation in the presence of an electromagnetic disturbance

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-01-20]

**3.1.13****indirect application**

application of the discharge to a coupling plane in the vicinity of the EUT to simulate personnel discharge to objects which are adjacent to the EUT

**3.1.14****reference ground plane****RGP**

flat conductive surface that is at the same electric potential as reference ground, which is used as a common reference, and which contributes to a reproducible parasitic capacitance with the surroundings of the equipment under test (EUT)

Note 1 to entry: In some regions, the term 'earth' is used in place of 'ground'.

[SOURCE: IEC 60050-161:2014, 161-04-36, modified – Note 1 has been removed.]

### 3.1.15

#### rise time

interval of time between the instants at which the instantaneous value of a pulse first reaches the specified lower and upper limits

Note 1 to entry: Unless otherwise specified, the lower and upper values are fixed at 10 % and 90 % of the pulse magnitude.

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-02-05, modified, modified – the domain has been deleted and, in the definition, "value and then a specified upper value" has been deleted and "and upper limits" has been added.]

### 3.1.16

#### verification

set of operations which is used to check the test equipment system (e.g. the test generator and the interconnecting cables) and to gain confidence that the test system is functioning

Note 1 to entry: Details of verification are given in 7.2.2.

Note 2 to entry: The methods used for verification can be different from those used for calibration.

Note 3 to entry: For the purpose of this document this definition is different from the definition given in IEC 311-01-13.

## 3.2 Abbreviated terms

|     |                               |
|-----|-------------------------------|
| AD  | Air discharge                 |
| AE  | Auxiliary equipment           |
| CD  | Contact discharge             |
| EMC | Electromagnetic compatibility |
| ESD | Electrostatic discharge       |
| EUT | Equipment under test          |
| FT  | Fourier transform             |
| HCP | Horizontal coupling plane     |
| HV  | High voltage                  |
| IC  | Integrated circuit            |
| IFT | Inverse Fourier transform     |
| MU  | Measurement uncertainty       |
| PE  | Protective earth              |
| RGP | Reference ground plane        |
| VCP | Vertical coupling plane       |
| VNA | Vector network analyzer       |

## 4 General

This document relates to equipment, systems, subsystems and peripherals which can be involved in static electricity discharges as a result of environmental and installation conditions, such as low relative humidity, use of low-conductivity (artificial-fibre) carpets, synthetic-fabric garments, etc., which can exist in all locations classified in standards relevant to electrical and electronic equipment. Detailed information is specified in Annex A.

NOTE From the technical point of view, the precise term for the phenomenon would be static electricity discharge. However, the term electrostatic discharge (ESD) is widely used in the technical world and in technical literature. Therefore, it has been decided to retain the term electrostatic discharge in the title of this document.

Electrostatic discharges are categorized as contact discharges and air discharges. In addition, contact discharges are categorized as direct discharges and indirect discharges. Direct discharges are applied to conductive surfaces while indirect discharges are applied to coupling planes in the vicinity of EUTs.

## 5 Test levels

The preferred range of test levels for the ESD test is specified in Table 1.

Contact discharge is the preferred test method. Air discharges shall be used where contact discharge cannot be applied. Voltages for each test method are specified in Table 1. The voltages shown are different for each method due to the differing test methods. This does not imply that the test severity is equivalent between test methods.

Details concerning the various parameters which can influence the voltage to which the human body can be subjected are given in Clause A.2. Clause A.8 also contains examples of the application of the test levels related to environmental (installation) classes.

For air discharge testing, the test shall be applied at all test levels in Table 1 up to and including the specified test level. For contact and indirect discharge testing, the test shall be applied at the specified test level.

For further information on test level variations and applications between air and contact discharge, refer to Annex A, specifically Clause A.3 through Clause A.7.

**Table 1 – Test levels**

| Level                                                      | Test voltage      |               |
|------------------------------------------------------------|-------------------|---------------|
|                                                            | Contact discharge | Air discharge |
| 1                                                          | 2 kV              | 2 kV          |
| 2                                                          | 4 kV              | 4 kV          |
| 3                                                          | 6 kV              | 8 kV          |
| 4                                                          | 8 kV              | 15 kV         |
| NOTE Product committees can specify different test levels. |                   |               |

## 6 Test equipment

### 6.1 Overview

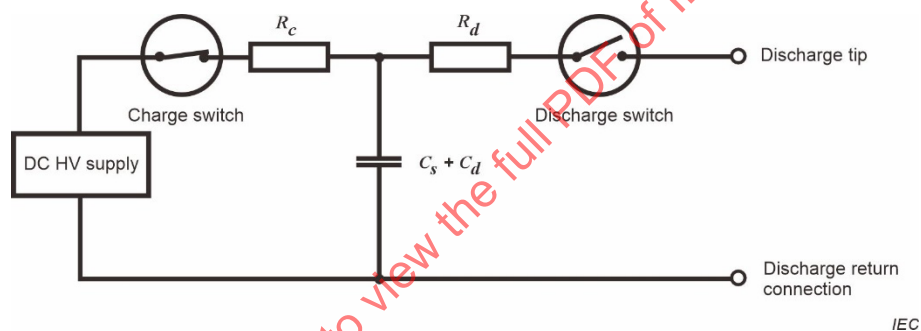
The ESD generator is designed to meet the characteristics in 6.2.2 and shall be calibrated in accordance with the procedure in 6.3 using a current measurement system calibrated in accordance with Annex B.

## 6.2 ESD generator

### 6.2.1 General

A simplified circuit diagram of an ESD generator is shown in Figure 1. Although construction details (shape, size, weight, materials, etc.) of the generator are not specified, the following main items are used in the design of an ESD generator:

- charging resistor  $R_c$ ;
- energy-storage capacitor  $C_s$ ;
- distributed capacitance  $C_d$ ;
- discharge resistor  $R_d$ ;
- voltage indicator;
- discharge switch;
- charge switch;
- interchangeable discharge tips (see Figure 3 and Figure 4);
- discharge return cable;
- power supply unit.



#### Components

- $C_d$  is a distributed capacitance which exists between the generator and its surroundings.
- $C_s + C_d$  has a typical value of 150 pF.
- $R_d$  has a typical value of 330  $\Omega$ .

**Figure 1 – Simplified diagram of the ESD generator**

The ESD generator shall meet the requirements specified in 6.2.2 and indicated in Figure 2 when evaluated in accordance with the procedures in 6.3. Therefore, neither the diagram in Figure 1, nor the component values are specified in detail.

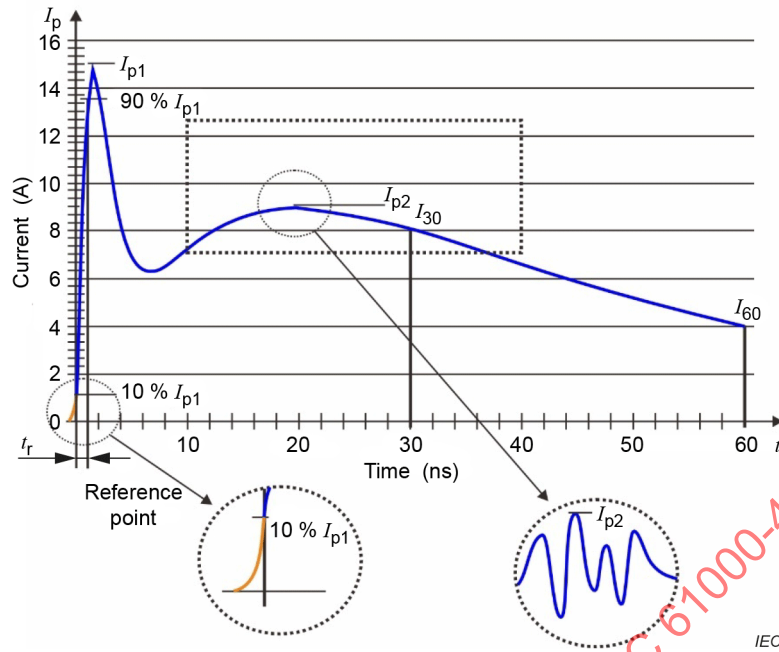


**Figure 2 – Ideal contact discharge current waveform at 4 kV**

A formula to generate the waveform in Figure 2,  $I(t)$ , is as follows:

$$I(t) = \frac{I_1}{k_1} \times \frac{\left(\frac{t}{\tau_1}\right)^n}{1 + \left(\frac{t}{\tau_1}\right)^n} \times \exp\left(\frac{-t}{\tau_2}\right) + \frac{I_2}{k_2} \times \frac{\left(\frac{t}{\tau_3}\right)^n}{1 + \left(\frac{t}{\tau_3}\right)^n} \times \exp\left(\frac{-t}{\tau_4}\right)$$

where

$$k_1 = \exp\left(-\frac{\tau_1}{\tau_2} \left(\frac{n\tau_2}{\tau_1}\right)^{1/n}\right)$$

$$k_2 = \exp\left(-\frac{\tau_3}{\tau_4} \left(\frac{n\tau_4}{\tau_3}\right)^{1/n}\right)$$

and

$\tau_1 = 1,1$  ns;  $\tau_2 = 2,0$  ns;  $\tau_3 = 12,0$  ns;  $\tau_4 = 37,0$  ns;

$I_1 = 16,6$  A (at 4 kV);  $I_2 = 9,3$  A (at 4 kV);

$n = 1,8$ .

## 6.2.2 General characteristics

### 6.2.2.1 Specifications of the ESD generator

The parameters of the ESD generator are specified in Table 2 and Table 3.

**Table 2 – General ESD generator parameters**

| Parameters                             | Values                                       |
|----------------------------------------|----------------------------------------------|
| Output voltage, contact discharge mode | At least 2 kV to 8 kV, nominal               |
| Output voltage, air discharge mode     | At least 2 kV to 15 kV, nominal <sup>a</sup> |
| Tolerance of output voltage            | ±5 %                                         |
| Polarity of output voltage             | Positive and negative                        |
| Holding time, air discharge mode       | ≥ 5 s                                        |
| Discharge mode of operation            | Single discharges <sup>b</sup>               |

The "open-circuit" voltage is measured at the discharge tip of the ESD generator.

<sup>a</sup> It is not necessary to use a generator with 15 kV air discharge capability if the maximum test voltage to be used is lower.

<sup>b</sup> The generator should be able to generate at a repetition rate of at least 20 discharges per second for exploratory purposes.

**Table 3 – Discharge current waveform parameters**

| Level |     | Associated voltage level (Table 2) | First peak current $I_{p1}$ of discharge (±15 %) | Rise time <sup>a</sup> $t_r$ (±25 %) | Second peak current <sup>b</sup> $I_{p2}$ of discharge (-20 %/+40 %) | Current $I_{30}$ at 30 ns (±30 %) | Current $I_{60}$ at 60 ns (±30 %) |
|-------|-----|------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| CD    | AD  | kV                                 | A                                                | ns                                   | A                                                                    | A                                 | A                                 |
| 1     | 1   | 2                                  | 7,5                                              | 0,8                                  | 4,5                                                                  | 4,0                               | 2,0                               |
| 2     | 2   | 4                                  | 15,0                                             | 0,8                                  | 9,0                                                                  | 8,0                               | 4,0                               |
| 3     | --- | 6                                  | 22,5                                             | 0,8                                  | 13,5                                                                 | 12,0                              | 6,0                               |
| 4     | 3   | 8                                  | 30,0                                             | 0,8                                  | 18,0                                                                 | 16,0                              | 8,0                               |
| ---   | 4   | 15                                 | 56,3                                             | 0,8                                  | 33,8                                                                 | 30,0                              | 15,0                              |

The reference point for the time values is the instant when the current first reaches 10 % of the 1<sup>st</sup> peak of the discharge current.

All current and voltage values are given as absolute values. The respective polarity of the discharge applies to all values.

<sup>a</sup> The rise time,  $t_r$ , is the time interval between 10 % and 90 % value of 1<sup>st</sup> peak current.

<sup>b</sup> This is the maximum current which occurs in the time frame of 10 ns to 40 ns from the reference point.

The generator should be provided with means of preventing unintended radiated or conducted emissions, either of pulse or continuous type, so as not to disturb the EUT or AE by parasitic effects (see Annex D).

The discharge return cable of the ESD generator shall be at least 2 m long. In cases where a 2 m length of the discharge return cable is insufficient, (e.g. for tall EUTs), a longer cable (e.g. 3 m) may be used. The length of the discharge return cable shall be measured from the ESD generator body to the end of the connecting point. It shall be sufficiently insulated to prevent the flow of the discharge current during the ESD test to personnel or conducting surfaces other than via its termination.

The discharge return cable used for testing shall be the same cable used during calibration.

### 6.2.2.2 Characteristics of the contact discharge tip

The contact discharge tip shall be constructed in accordance with Figure 3. The discharge tip with the dimensions in Figure 3 may be covered with insulated coatings, provided the discharge current waveform specifications are met.

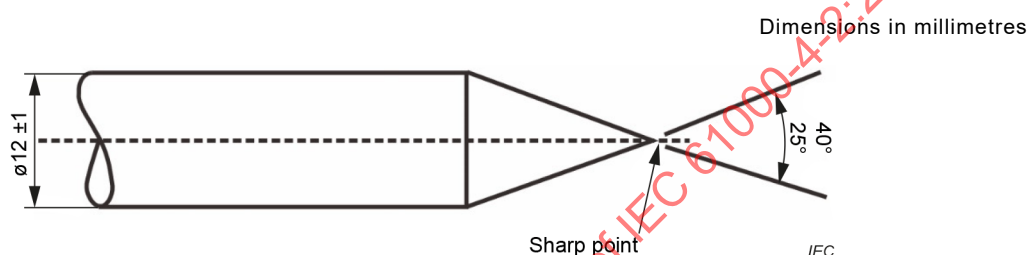


Figure 3 – Contact discharge tip of the ESD generator

### 6.2.2.3 Characteristics of the air discharge tip

The air discharge tip shall be constructed according to Figure 4. The discharge tip with the dimensions in Figure 4 may be covered with insulated coatings, provided the discharge current waveform specifications are met.

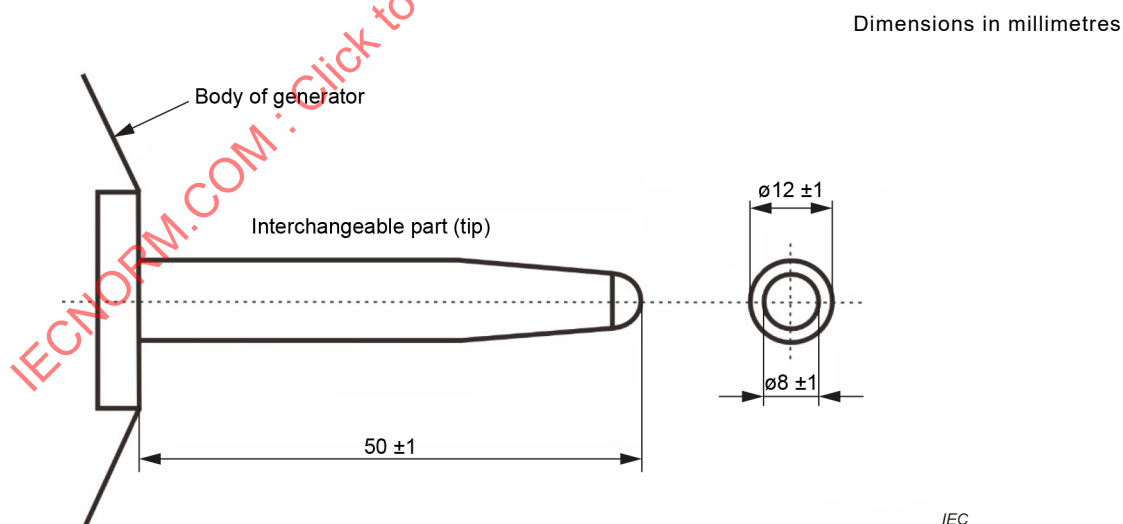


Figure 4 – Air discharge tip of the ESD generator

## 6.3 Calibration of the characteristics of the ESD generator

### 6.3.1 General

The ESD generator including the respective discharge tips (air and contact) shall be calibrated to ensure that they meet the specifications given in Table 2 and Table 3. It shall be demonstrated that these specifications are fulfilled using the test equipment specified in 6.3.2 with the test setup described in 6.3.3 and the calibration method specified in 6.3.4.

The calibration of the ESD generator shall be performed within the range of the climatic conditions as specified in 8.2.1. The ESD generator shall be powered in the same way as it is used for testing, i.e. two calibrations are applicable for ESD generators that may be powered by either mains or battery when both supplies are used for testing.

ESD generators shall be calibrated at test levels 1 through 4 as specified in Table 1 with both polarities.

For contact discharge, the complete calibration procedure as specified in 6.3.4 shall be performed at all test levels stated above with the contact discharge tip mounted.

For air discharge, if the contact and air discharge tips consist of a conductor with no additional active or passive electronic components, the calibration can be limited to the measurement of the open circuit voltage at the air discharge tip at the maximum test voltage used for air discharge. Otherwise, it is sufficient to additionally perform the air discharge calibration according to 6.3.4.3 at one of the levels specified in Table 1 with the ESD generator used in contact discharge mode but with the air discharge tip mounted.

NOTE 1 Some generators cannot be calibrated at 15 kV air discharge. If air discharge calibration cannot be performed at 15 kV, then the next lower air discharge voltage level specified in Table 3 can be used for calibration.

NOTE 2 The process in 6.3 is specified for calibration purposes. A procedure for verification of the generator before testing is specified in 7.2.2.

NOTE 3 Information of the components used within the discharge tips can be obtained from the manufacturer.

NOTE 4 Comparable calibration results of an ESD evaluation is extremely important. This is particularly the case when tests are conducted using ESD generators from different manufacturers, or when testing is expected to extend over a long period of time. It is essential that repeatability be a driving factor in the evaluation. It is useful for the ESD generator to be calibrated periodically.

### 6.3.2 Equipment required for ESD generator calibration

The following equipment is required for calibrating ESD generators:

- high-voltage meter capable of measuring voltages of at least 15 kV. For open circuit output voltage calibration, a resistive high voltage divider connected to a voltmeter shall be used. The overall accuracy of the high voltage divider including voltmeter shall be  $\pm 1$  % of reading. The minimum input resistance of the high voltage divider depends on the model of ESD generator and shall be specified by the manufacturer of the generator. Alternatively, an electrostatic voltmeter with the same accuracy can be used.

NOTE 1 A typical value for high voltage divider input resistance is in the range of 10 G $\Omega$  to 100 G $\Omega$

NOTE 2 Protective measures can be taken so that no corona discharges occur within the measuring setup, as they would influence the measuring result.

- oscilloscope with a bandwidth of  $\geq 2$  GHz and a sampling rate of  $\geq 8$  GS/s;
- coaxial current target-attenuator-cable chain with the coaxial current target calibrated in accordance with Annex B.

NOTE 3 An example of a suitable target is specified in Annex C.

- attenuator(s) with sufficient power capability as necessary.

### 6.3.3 Setup for ESD generator current waveform calibration

The coaxial current target shall be mounted in a vertical calibration plane as shown in Figure 5. The RGP with dimensions as specified in Figure 5 and which encompasses the projection of the pulled back discharge return cable onto the RGP shall be electrically connected to the vertical calibration plane.

The generator shall be installed on a tripod or on an equivalent non-conductive support. The discharge tip shall be perpendicular to the vertical calibration plane.

The ESD generator shall make contact with the centre conductor of the coaxial current target to ensure electrical contact.

The connection for the discharge return cable shall be made as shown in Figure 5. The discharge return cable shall be pulled backwards at the middle of the cable, forming a triangle. During calibration, the discharge return cable shall not lay on the RGP or be held by operators.

Any external power supply of the ESD generator shall be placed on the RGP as shown in Figure 5. No conductive objects shall be placed within the dimensions (e.g. 1,5 m × 1,2 m) of the calibration setup in Figure 5. The cable between the power supply and the ESD generator shall be routed along the RGP and the vertical calibration plane.

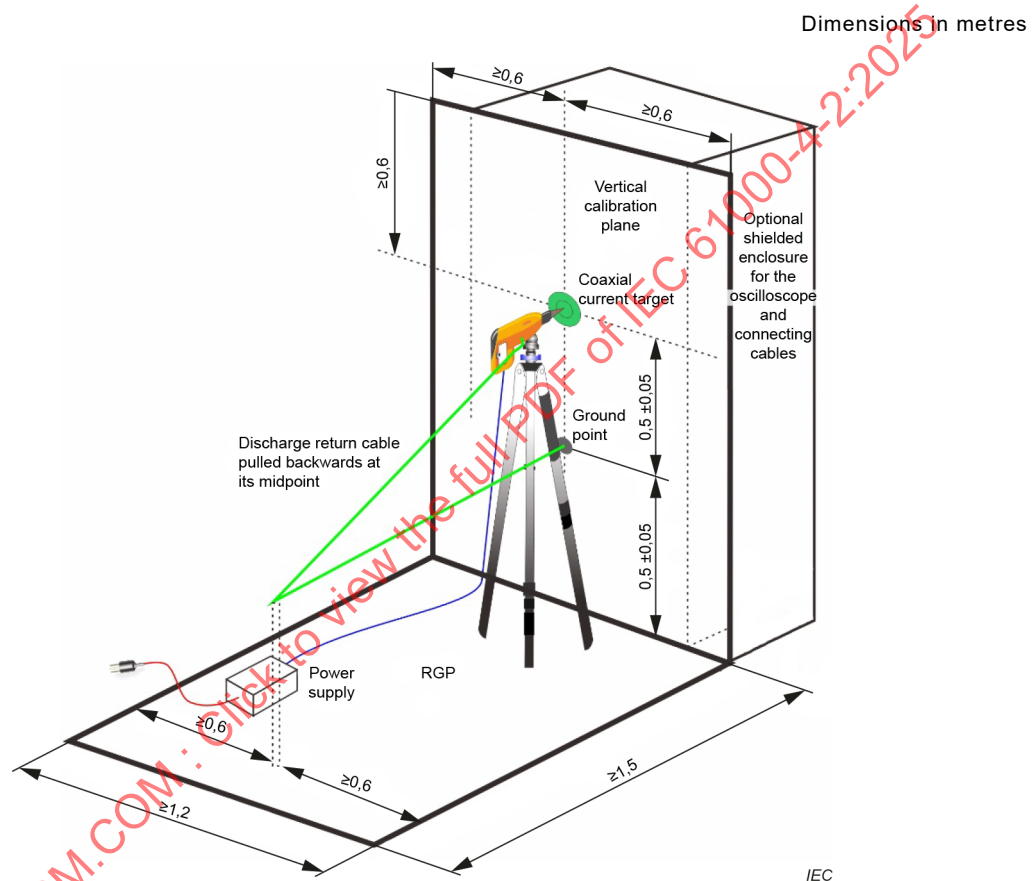


**Figure 5 – Arrangement for calibration of ESD generator performance**

Shielding of the oscilloscope is not necessary if it can be proven by measurement that parasitic coupling paths onto the measurement system do not influence the calibration results.

The measurement system can be declared sufficiently immune (i.e. no shielding necessary) if no triggering of the oscilloscope results when:

- the oscilloscope trigger level is set to  $\leq 10\%$  of the lowest test level, and
- the ESD generator is discharged with the highest test level to the outer ring of the coaxial current target (instead of to the centre conductor).

### 6.3.4 Procedure for the ESD generator calibration

#### 6.3.4.1 General

All measured values and at least one discharge current waveform shall be recorded in the calibration report.

### 6.3.4.2 Measuring the open-circuit output voltage

Measure the open-circuit output voltage of the ESD generator with the discharge switch activated and verify that it meets the requirements specified in Table 2.

### 6.3.4.3 Measuring the current waveform parameters

Follow the steps specified below to verify if the current waveform of an ESD generator is within specifications. Record the waveform of five discharges for both polarities and measure the following parameters (see Figure 2 and Table 3) for each discharge:

- $I_{p1}$  1<sup>st</sup> peak value of the discharge current [A];
- $I_{p2}$  2<sup>nd</sup> peak value of the discharge current [A];
- $I_{30}$  value of the current 30 ns after the reference point (10 % of  $I_{p1}$ ) [A];
- $I_{60}$  value of the current 60 ns after the reference point (10 % of  $I_{p1}$ ) [A];
- $t_r$  rise time of the current [ns];

Verify that each value is within the limits specified in Table 3.

At least one recorded waveform of a contact discharge at 8 kV positive polarity shall be included in the calibration report.

## 7 Test setup

### 7.1 General

The test setup consists of the EUT and AE as well as the ESD generator necessary to perform direct and indirect application of discharges to the EUT in the following manner:

- a) contact discharge to conductive surfaces and to coupling planes;
- b) air discharge to non-conductive surfaces.

The EUT shall be set up and operated in accordance with the product's specifications.

### 7.2 Test equipment

#### 7.2.1 General

The ESD test setup includes:

- the ESD generator;
- the discharge tips;
- the discharge return cable;
- the bleeder resistor cables;
- the HCP (if applicable) and VCP;
- the insulating support;
- the RGP.

Examples of the ESD test setup for table-top equipment are shown in Figure 6 and Figure 8 and for floor-standing equipment in Figure 7 and Figure 9.

### 7.2.2 Verification of the ESD test equipment

The purpose of verification is to ensure that the ESD test equipment is operating as intended. One verification method can be to observe that at low voltage settings, a small spark is created during the approach of the discharge tip to the coupling plane and a larger spark is created at higher voltage settings. Both discharge tips shall be verified. Other methods of verification may be applied, for example self-verification.

NOTE Current waveform parameters from ESD generators do not typically change, for example rise time drift and drift of the duration of the waveform. The most likely ESD generator failures would be that no voltage is delivered to the discharge tip or that no voltage control is present. Any of the cables, resistors or connections along the discharge path can be damaged, loose or missing, resulting in no discharge.

## 7.3 Test setup for tests performed in laboratories

### 7.3.1 General

The test setups specified in 7.3 are basic test setups for table-top equipment and floor-standing equipment. For other kinds of equipment, if applicable, Annex I shall apply in addition to the requirements in 7.3.

### 7.3.2 Test conditions

The following requirements apply to tests performed in laboratories under environmental reference conditions specified in 8.2.

The RGP shall be a copper or aluminium sheet or plate of 0,25 mm minimum thickness; other metallic materials may be used but they shall have 0,65 mm minimum thickness.

The RGP shall project beyond the EUT and the horizontal coupling plane (where applicable) by at least 0,5 m on all sides and shall be connected to the protective grounding system. Local safety regulations can apply.

A minimum distance of 0,8 m shall be provided between the EUT and the walls of the laboratory and any other metallic structures.

The EUT and the ESD generator (including any external power supply) shall be grounded in accordance with their installation specifications. No additional grounding connections are allowed.

Any external power supply of the ESD generator shall be placed on the RGP.

The positioning of the power and signal cables of the EUT shall be representative of installation practice.

The discharge return cable of the ESD generator shall be connected to the RGP. In cases where the length of the cable exceeds the length necessary to apply the discharges to the selected points, the excess length shall be kept off the RGP and shall not be bundled or wound. The discharge return cable shall not come closer than 0,1 m to other conductive parts in the test setup.

The discharge return cable may be connected to the metallic wall of the test laboratory provided that wall is electrically bonded to the RGP.

The connections to the RGP and all bondings shall be of low impedance (e.g.  $\leq 0,1 \Omega$ ), for example by using mechanical clamping devices.

Where coupling planes are specified, for example to allow indirect application of the discharge, they shall be constructed from a copper or aluminium sheet of 0,25 mm minimum thickness. Other metallic materials may be used but they shall have 0,65 mm minimum thickness. The coupling planes shall be connected to the RGP via a cable with two  $(470 \pm 10 \%)$  k $\Omega$  resistors located up to 10 cm from each end (i.e. bleeder resistor cable). These resistors shall be capable of withstanding the discharge voltage. The resistors and cables shall be insulated to avoid short circuits to the RGP when the cable lies on the RGP.

NOTE 1 The  $(470 \pm 10 \%)$  k $\Omega$  resistors which are contained in the bleeder resistor cables of the HCP and VCP (see Figure 6, Figure 7, Figure 8, Figure 9, Figure I.1, Figure I.2) are used to prevent the charge applied to the planes disappearing instantly after the discharge of the ESD generator to the plane. This increases the impact of the ESD event to the EUT. They are positioned close to each end of the grounding cable in order to create a distributed resistance.

NOTE 2 Unless product committees decide otherwise, ESD tests on ceiling-mounted equipment are generally not applicable because such equipment is not touched by the user after installation.

Any mounting feet associated with the EUT shall remain in place. Any AE can be placed anywhere (e.g. outside the test environment, RGP, HCP). Interconnecting cables between the EUT and the AE may be decoupled either to protect the AE from discharges or because the EUT specification requires decoupled cables.

### 7.3.3 Table-top equipment

The test setup shall consist of a non-conductive support,  $(0,8 \pm 0,08)$  m high, standing on the RGP. The table may be replaced by any non-conductive support.

The HCP shall be placed on the table and connected to the RGP with the HCP bleeder resistor cable. The bleeder resistor cable shall have a maximum length of 1,5 m and shall be held apart from the HCP and RGP.

NOTE Generally the HCP bleeder resistor cable assembly is connected to the edge of the HCP in a vertical line to the RGP i.e. short connection (refer to Figure 6).

The HCP shall have a minimum area of 1,23 m<sup>2</sup> and shall be large enough to ensure that the EUT can be placed at least 0,1 m from the periphery of the HCP. The HCP may have different shapes (e.g. square, rectangular, circular). The HCP may be a combination of different HCPs that shall be bonded together with a low impedance; i.e. continuous connection along the edge.

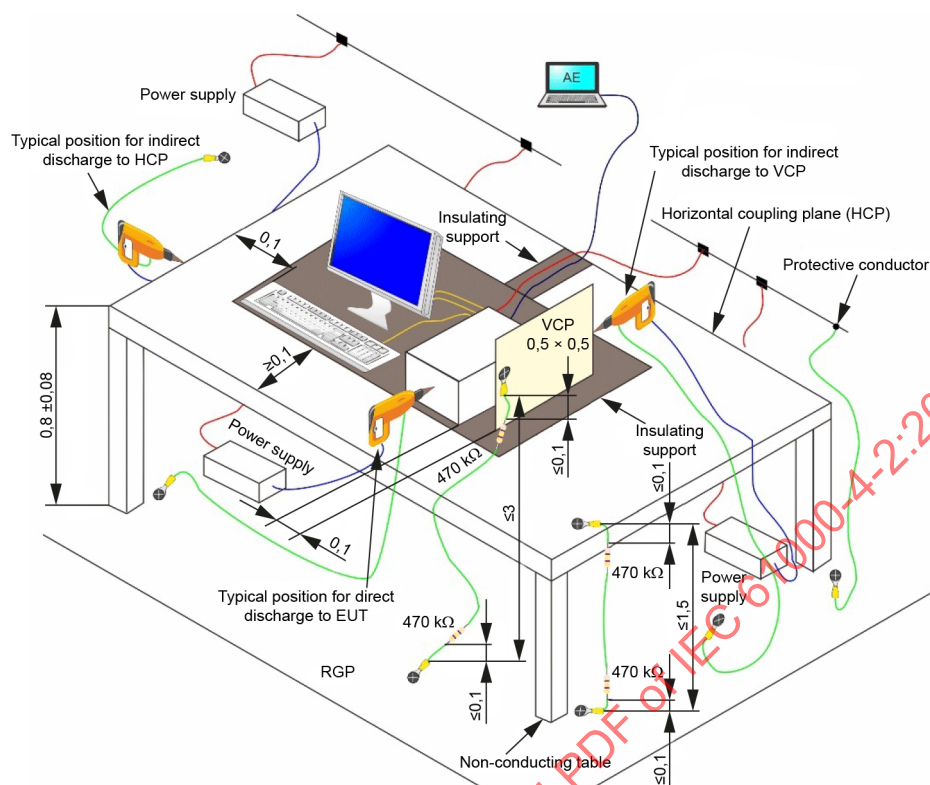
The size of the HCP shall correlate with the size of the EUT; i.e. the HCP shall not project more than 0,8 m beyond any edge of the EUT.

The EUT and its cables shall be separated from the HCP by an insulation with a thickness of  $(0,5 \pm 0,05)$  mm. The HCP bleeder resistor cable shall be connected to the HCP.

When performing indirect discharges, a square VCP of side length of  $(0,5 \pm 0,005)$  m shall be placed on a non-conductive support and shall be located  $(0,1 \pm 0,01)$  m from the side of the EUT. The VCP shall be isolated from the HCP and only be connected to the RGP by the VCP bleeder resistor cable. The VCP bleeder resistor cable assembly shall have a maximum length of 3 m and shall not be bundled.

An example of the test setup for table-top equipment is shown in Figure 6.

Dimensions in metres



IEC

Figure 6 – Example test setup for table-top equipment

### 7.3.4 Floor-standing equipment

The EUT shall be isolated from the RGP by a non-conductive support with a height of  $(0,1 \pm 0,05)$  m. The EUT cables shall be isolated from the RGP by an insulating support of  $(0,5 \pm 0,05)$  mm.

When performing indirect discharges, a square VCP of side length of  $(0,5 \pm 0,005)$  m shall be placed on the table and shall be located  $(0,1 \pm 0,01)$  m from the side of the EUT. The VCP shall be connected to the RGP by the VCP bleeder resistor cable. The VCP bleeder resistor cable assembly shall have a maximum length of 3 m and shall not be bundled.

An example test setup for floor-standing equipment is shown in Figure 7.



NOTE 1 For products that have user-accessible floating pieces of metal, contact discharge to the floating metal could result in a secondary discharge inside the product and cause failures. Depending on the size of the gap between the floating exposed metal and internal ground structures, sometimes at lower voltage levels the secondary discharge can be directed closer to sensitive electronics or be more pronounced than higher levels. This is also true in cases where a grounding path that relies on a thin insulation layer like conductive adhesive exists. At higher voltage levels, ESD can arc through the thin adhesive but at lower levels the spark can be forced to take a different path and cause failures. For products such as hand-held devices, Product committees can specify for contact discharges also to be applied at lower test levels.

The general test setup shall be identical to the ones specified in 7.3.3, 7.3.4 and, if applicable, Annex I, respectively.

To simulate a single ESD event (either by air or by contact discharge), the charge on the EUT shall be removed prior to each applied ESD pulse.

When one or more metallic accessible parts are subjected to the ESD test, the charge shall be removed from the point where the ESD pulse is to be applied, as no guarantee can be given about the resistance between this and other accessible points on the product.

A cable with 470 kΩ bleeder resistors, similar to the one used with the HCP and VCP, is the preferred device to remove charges (see 7.3.2).

As the capacitance between the EUT and HCP (table-top) and between the EUT and RGP (floor-standing) is determined by the size of the EUT, the cable with bleeder resistors can remain installed between the EUT and RGP during the ESD test when it will not affect EUT functioning.

The presence of the cable with the bleeder resistors can influence the test results. In case the test result is influenced by bleeder resistors, a test with the cable disconnected during the ESD pulse takes precedence over the test with the cable installed during the test, provided that the charge has sufficiently decayed between successive discharges.

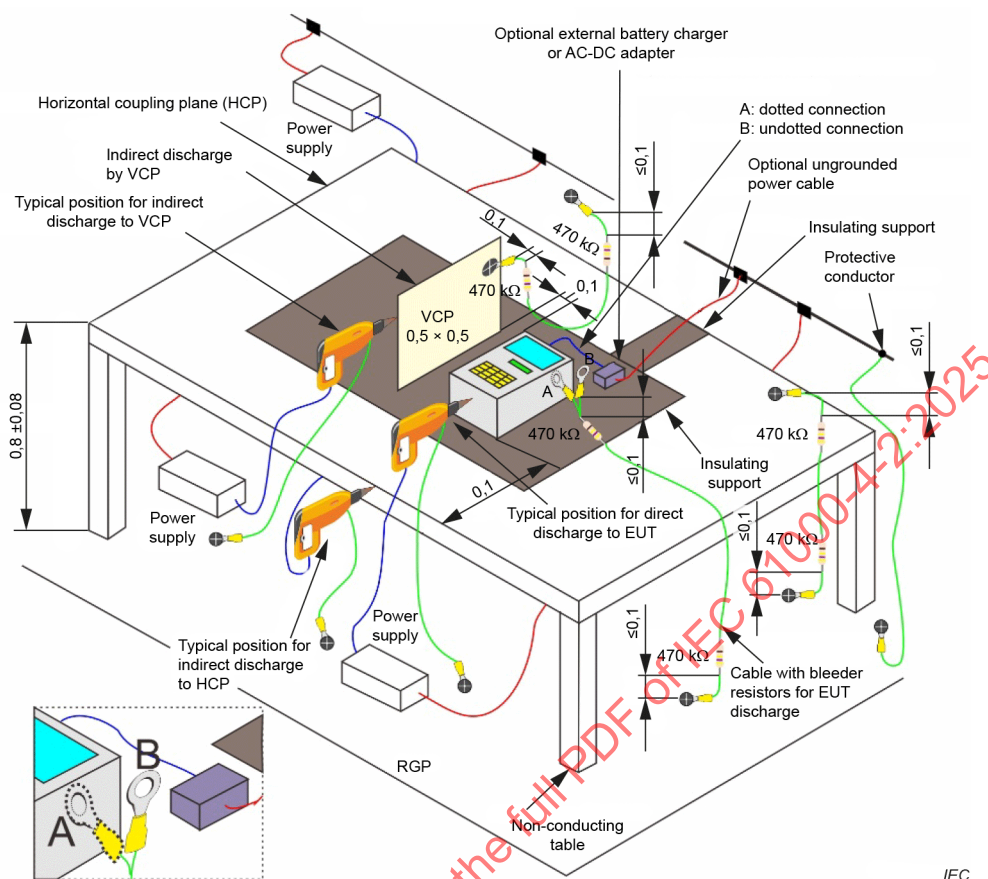
Therefore, as an alternative, the following options can be used:

- the time interval between successive discharges shall be extended to the time necessary to allow natural decay of the charge from the EUT;
- sweeping of the EUT with a grounded carbon fibre brush with bleeder resistors (for example,  $2 \times 470 \text{ k}\Omega$ ) in the grounding cable;
- using an automatic discharge function if included in the ESD generator.

NOTE 2 To ensure the charge has decayed, the charge on the EUT can be monitored by a non-contacting electric field meter. When the charge has decayed below 10 % of the test voltage, the EUT is considered to be discharged.

NOTE 3 The "dotted" connection (i.e. "A") shown in Figure 8 and Figure 9 applies to the discharge process during a short period of time, while the "un-dotted" connection (i.e. "B") represents the position during the application of the ESD tests ("normal" situation).

Dimensions in metres



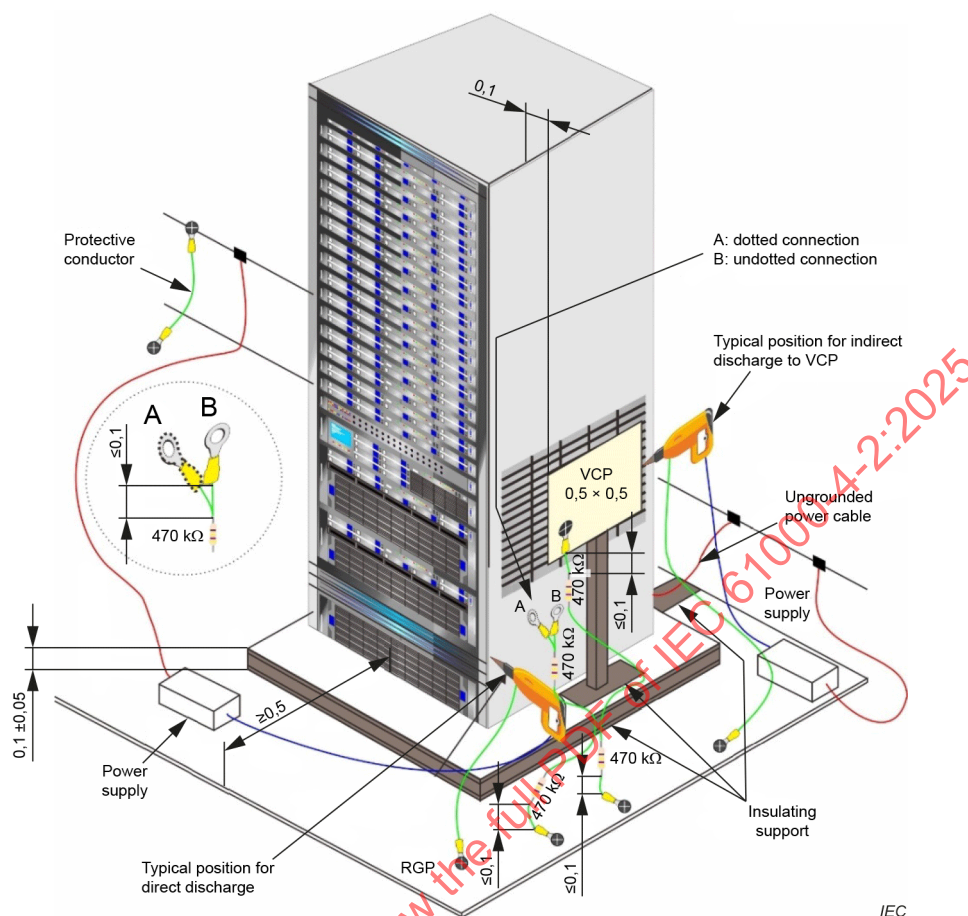


**Figure 9 – Example test setup for ungrounded floor-standing equipment**

## 8 Test procedure

## 8.1 General

The test procedure includes:

- the verification of the test instrumentation according to 7.2.2;
- the confirmation of the laboratory reference conditions;
- the functional check to ensure the correct operation of the EUT;
- the execution of the test.

## 8.2 Laboratory reference conditions

### 8.2.1 Climatic conditions

The EUT shall be operated within its intended climatic conditions.

In the case of air discharge testing, the climatic conditions shall be within the following ranges:

- ambient temperature: 15 °C to 35 °C;
- relative humidity: 30 % to 60 %;
- atmospheric pressure: 86 kPa (860 mbar) to 106 kPa (1 060 mbar).

Other values may be applicable for equipment used in particular climatic environments.

ESD testing may be performed at a relative humidity below 30 %. If the EUT meets the specified performance criteria within these conditions, no further action is required. Otherwise, the test shall be performed within the relative humidity range specified above.

NOTE When the relative humidity decreases, the current value of the first peak increases and the rise time decreases.

The absolute value (not corrected to sea level) of the atmospheric pressure at the time of testing can be obtained from a local meteorological station. Therefore, it is not necessary for test laboratories to have the test instrumentation for atmospheric pressure.

## 8.2.2 Electromagnetic conditions

The electromagnetic conditions of the laboratory shall be such as to guarantee the correct operation of the EUT in order not to influence the test results.

## 8.3 Execution of the test

### 8.3.1 EUT exercising

The test should be performed on the basis of a test plan that shall include the performance criteria of the EUT according to its technical specifications.

Any test program and software shall be chosen so as to exercise all normal modes of operation of the EUT. If monitoring equipment is required, it should not be affected by the ESD. The testing shall be performed by direct or indirect application, or both, of discharges to the EUT and should be according to the test plan.

The test plan should specify:

- test location;
- representative operating conditions of the EUT;
- EUT test setup arrangement;
- test level and polarity;
- the location of HCP and VCP if applicable;
- the number and type of discharges to be applied at each point;
- the time interval between successive discharges;
- the points at which discharges are to be applied;

NOTE 1 The test points to which the discharges are applied can be selected by means of an exploration.

- coating declared as insulating material for the specific points if applicable;
- auxiliary equipment (AE) including grounding and decoupling equipment if used.

It can be necessary to carry out some investigatory testing to establish some aspects of the items above.

NOTE 2 Refer to Annex F for examples of uncertainty budgets in case of necessity to provide measurement uncertainty.

Test results shall be evaluated after the tests. Annex K gives guidance and information on how to formulate specific product performance criteria as applicable.

### 8.3.2 Direct application of discharges to the EUT

Unless product committees decide otherwise, the electrostatic discharges shall be applied only to those points and surfaces of the EUT which are accessible to persons during normal use; refer to Annex E.

The test shall be performed with single discharges. A specified number of discharges shall be applied on each selected test point for both polarities. The total number of discharges applied to an EUT depends on how many test points are identified on the EUT. Product committees should specify the number of discharges per discharge point and consider whether it is necessary to give guidance on longer time intervals between pulses.

Clause E.7 gives guidance on how to determine the number of pulses including the time interval between successive single discharges. If not specified by product committees, 10 discharges per polarity shall be applied.

If an EUT has varying performance during the application of the discharges and it is not possible to decide whether the variation is due to the application of discharges, the escalation strategy in Annex H shall be applied.

NOTE Annex H is not applicable when an EUT consistently performs in the same manner due to application of discharges and therefore a test result can be determined.

The ESD generator shall, whenever possible, be held perpendicularly to the surface to which the discharge is applied. This improves repeatability of the test results. If the ESD generator cannot be held perpendicularly to the surface, the test conditions used to perform the discharges shall be recorded in the test report.

The generator discharge return cable shall be drawn away from the EUT and then kept at a distance of at least 0,1 m from the EUT whilst the discharge is being applied and shall not be held by the operator.

In the case of contact discharge, the contact discharge tip shall touch the conductive part of the EUT before the discharge switch is operated. In the case of painted surfaces covering a conducting substrate, the contact discharge tip shall penetrate the coating to make contact with the substrate unless the coating is declared to be insulating material. Where the coating is declared as insulating, only air discharges shall be applied to that surface.

In the case of an air discharge, the discharge switch in the ESD generator (see Figure 1) shall be closed before applying the discharge to the EUT. The ESD generator shall approach the EUT as fast as possible until contact between the discharge tip and the EUT is made (without causing mechanical damage) to ensure the possibility of a discharge. After each approach, the ESD generator (discharge tip) shall be removed from the EUT. The generator is then retriggered for a new single discharge.

At each test point, the specified number of discharges (for each polarity) shall be applied at the specified test level with a time interval between successive single discharges of 1 s minimum. This procedure shall be repeated for all specified test points.

### **8.3.3 Indirect application of the discharge**

#### **8.3.3.1 Discharges to objects near the EUT**

Discharges to objects placed on or installed near the EUT shall be simulated by applying the contact discharges of the ESD generator to a coupling plane.

If the time interval between pulses is not specified by product committees, at least 1 s shall apply.

The long axis of the discharge tip shall be in the plane of the HCP or VCP and perpendicular to its front edge during the discharge.

In addition to the test procedure in 8.3.2, the requirements specified in 8.3.3.2 and 8.3.3.3 shall be met.

Discharges on the coupling plane facing an EUT's metal structures which have no openings are not required.

#### **8.3.3.2 Horizontal coupling plane (HCP)**

Discharge to the HCP shall be applied horizontally to the edge of the HCP.

If the number of pulses is not specified by product committees, 10 discharges for each polarity shall be applied at the front edge of the HCP opposite the centre point of each unit, if applicable, of the EUT and 0,1 m from the front and one side of the EUT (for examples see Figure 6 and Figure 8).

The discharge tip shall be in contact with the edge of the HCP before the discharge switch is operated (see Figure 6).

All sides of the EUT which are subject to an indirect discharge to the HCP during its normal intended use shall be exposed to this test.

#### **8.3.3.3 Vertical coupling plane (VCP)**

If the number of pulses is not specified by product committees, 10 discharges for each polarity shall be applied to the centre of one vertical edge of the coupling plane (for examples see Figure 6 and Figure 7).

Discharges on the VCP shall be applied to all accessible vertical surfaces of the EUT except for grounded metal surfaces where direct discharges are applicable. Discharges shall be applied to the coupling plane with sufficient different positions such that all accessible vertical surfaces are completely illuminated. One VCP position is considered to illuminate an 0,5 m × 0,5 m area of the EUT surface.

## 9 Test report

The test report shall contain all the information necessary to reproduce the test. In particular, the following shall be recorded:

- the items specified in the test plan required by 8.3.1 of this document except for verification records;
- identification of the EUT and AE, for example, brand name, product type, serial number, software version;
- test level;
- identification of the test equipment, for example, brand name, product type, serial number;
- the length of the discharge return cable;
- any special environmental conditions in which the test was performed, for example, shielded enclosure;
- any special conditions necessary in order to enable the test to be performed;
- performance criteria specified in the generic, product or product-family standard;
- any effects on the EUT observed during or after the application of the test disturbance, and the duration for which these effects persist;
- the rationale for the pass/fail decision (based on the specified performance criteria);
- any specific conditions of use, for example cable length or type, shielding or grounding, or EUT operating conditions;
- test setup;
- climatic conditions (for air discharges);
- drawing or pictures, or both, of the test setup and EUT arrangement;
- diagrams or photographs indicating the discharge points;
- number of discharges per discharge point;
- HCP dimensions and shape, if used;
- escalation strategy, if used.

## **Annex A** (informative)

### **Explanatory notes**

#### **A.1 General considerations**

The problem of protecting equipment against the discharge of static electricity has gained considerable importance for manufacturers and users.

The extensive use of microelectronic components has emphasized the need to specify the aspects of the problem and to seek a solution in order to enhance product/system reliability.

The problem of static electricity accumulation and subsequent discharges becomes more relevant for uncontrolled environments and the widespread application of equipment and systems.

Equipment can also be subjected to electromagnetic energies whenever discharges occur from personnel to nearby objects. Additionally, discharges can occur between metal objects, such as chairs and tables, in the proximity of equipment. It is considered that the tests specified in this document do not adequately simulate the effects of the latter phenomenon.

The effects of the operator discharge can be a simple malfunction of the equipment or damage of electronic components. The dominant effects can be attributed to the parameters of the discharge current (rise time, duration, etc.).

The knowledge of the problem and the necessity to have a tool to assist in the prevention of undesirable effects due to the discharge of static electricity on equipment, have initiated the development of the standard testing procedure specified in this document.

#### **A.2 Influences of the environmental conditions on the levels of charge**

The generation of electrostatic charges is especially favoured by the combination of synthetic fabrics and dry atmosphere. There are many possible variations in the charging process. A common situation is one in which an operator walks over a carpet and at each step loses or gains electrons from their body to the fabric. Friction between the operator's clothing and their chair can also produce an exchange of charges. The operator's body can be charged either directly or by electrostatic inductions; in the latter case a conducting carpet will give no protection unless the operator is adequately earthed to it.

The graphic representation of Figure A.1 shows the voltage values to which different fabrics can be charged depending on the relative humidity of the atmosphere.

The graphic representation of Figure A.1 shows typical observed maximum non-linear voltage values to which an operator and different fabrics can be charged depending on the relative humidity of the atmosphere. Tribocharging events are not easy to repeat and initial voltage values typically decrease due to charge dissipation after the initial charging phase. Therefore, observed maximum voltage values can vary from case to case and in time by nature as presented in references [9] to [17]<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

Equipment can be directly subjected to discharges of voltage values up to several kilovolts in a typical usage scenario, depending on the type of used materials and the relative humidity of the atmosphere. In environmental conditions with relative humidity below 30 % equipment can be directly subjected to discharges of voltage values up to several kilovolts.

Air discharges above 15 kV generate sparks over a long distance, but the discharge current flowing to the EUT can be limited due to the large spark resistance, and the rise time is slower (see Clause A.4 and Clause A.8).

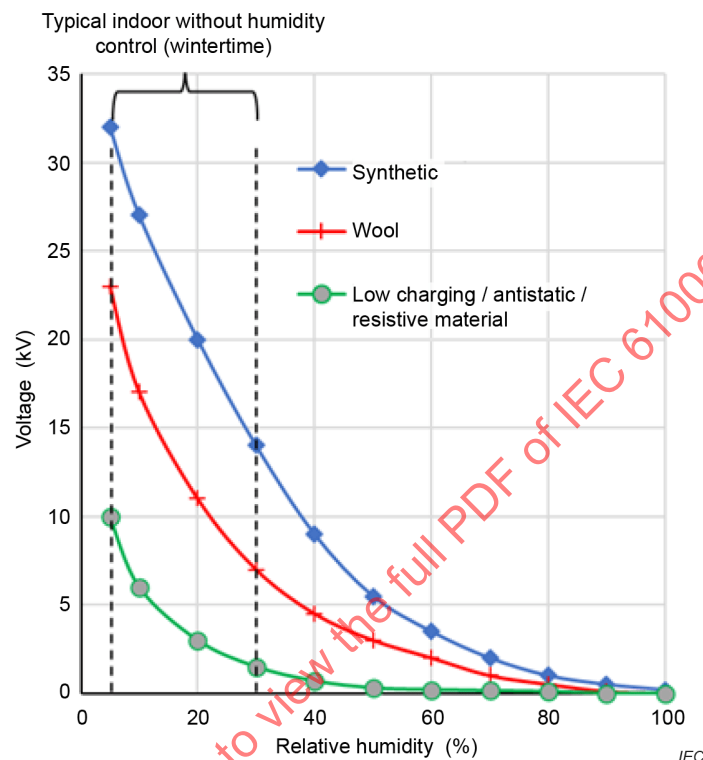


**Figure A.1 – Typical maximum values of electrostatic voltages to which operators and materials can be charged while operating in different environments outside an electrostatic protective area**

### A.3 ESD phenomenon from charged human body

Generally the capacitance between earth and the human body is in the order of 100 pF, and the capacitance is dominant at the contact surface of the foot with the earth. The human body is resistive, and all parts of the charged human body are almost equipotential surfaces. When the charged human hand approaches a conductive object (e.g. electronic equipment) at a different potential, a discharge occurs due to dielectric breakdown of air and a discharge current flows. Due to the parasitic capacitance of a few pico-farads between the charged hand and the object a discharge current flows. The discharge path is a very short current loop and the discharge current rise time will be of the order of 1 ns or less in some cases. Following this first discharge current, a second discharge current due to transfer of large electric charge from the electrostatic capacitance of the whole of human body will occur.

#### A.4 Air discharge phenomena

Paschen's law is known as the relationship between the charge voltage and the initial distance at which a discharge begins due to the dielectric breakdown of air. This law can be adapted under static conditions using large spherical tip whose surface conditions maintain a stationary state. For a charged human body approaching another body, the discharge distance is shorter than the discharge distance according to Paschen's law due to the delay of the spark initiation. In addition, when an object is sharp or has a rough surface, the discharge distance is longer due to the higher charge density causing easier breakdown of the air. If the body surface has an oil film, discharge is difficult and the discharge distance shortens. The spark caused by dielectric breakdown of air has a spark resistance that varies with time depending on discharge distance, and its value is representative of Rompe-Weizel's spark resistance law:

$$r(t) = \frac{\delta}{\sqrt{\frac{2\alpha}{\rho} \int_{-\infty}^t i^2(t') dt'}}$$

where

$\alpha \doteq 1,1 \times 10^{-4} \text{ atm m}^2 \text{ V}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (constant in atmosphere);

$p$  is the air pressure (atm);

$\delta$  is the discharge distance (m).

This means the spark resistance significantly affects the first peak of the ESD. The peak current becomes large and the rise time becomes fast if the discharge distance is short. As the discharge distance increases, the peak current decreases and the rise time also decreases, therefore a first peak current does not exist as a result.

At discharge voltages of several kilovolts or less, a peak current larger than the contact discharge and a fast rise time are obtained. At a voltage of 5 kV to 8 kV or more, the rise time becomes slower and the peak current decreases. A long and bright spark will occur at higher voltages, however the discharge current and the rise time do not become a severe phenomenon proportional to the applied voltage.

#### A.5 Variations in air discharge

The factors that vary the air discharge current include charging voltage, approach speed, temperature, humidity, atmospheric pressure, shapes and the surface state of the discharge tip and the EUT shape, which affect the discharge distance. In particular, the peak current and rise time of the first peak will change. By altering the conditions of these factors, it is possible to control the discharge current, but it will still be variable. Although the variation is reduced depending on the condition, unpredictable variations also occur, and it is impossible to control the discharge current to the accuracy within several tens of percent.

#### A.6 Temperature and humidity of air discharge

It is well known that air discharge is affected by humidity. Relative humidity depends on air temperature, and the relationship with the amount of water vapour in the air should also be taken into consideration in order to elucidate discharge phenomena. In recent studies, the absolute humidity (mass of water in 1 m<sup>3</sup>: unit g/m<sup>3</sup>) has also been shown to have an effect. The larger the amount of water vapour in the air, the easier it becomes to initiate a discharge and the longer the discharge distance. As a result, higher humidity gives lower discharge currents and slower rise times due to higher spark resistance. When reproducing the severe ESD test in which the first peak is fast and large, it is desirable to conduct the test at an ambient temperature of 20 °C or less and with a relative humidity of 30 % or less (absolute humidity, about 5 g/m<sup>3</sup> or less).

In an environment with a temperature of 15 °C or less and relative humidity of 30 % or less (absolute humidity of about 4 g/m<sup>3</sup> or less), the discharge current variation tends to be small, with 0,5 ns or less high-speed first peaks and 100 A or higher peak currents at higher test voltages such as 15 kV observed.

## A.7 Relevance of contact discharge test

The ESD phenomenon caused by a charged human body is only air discharge. As described above, however, it has been found that it is impossible to obtain reproducibility of the discharge accompanied by the dielectric breakdown phenomenon of air, even if various conditions of the environment and the ESD generator are carefully controlled. In the contact discharge method, the discharge tip makes contact with the EUT first and a stabilized micro-gap discharge on a high-speed moving contact in high pressure inert gas is generated in the high voltage relay built into the ESD generator.

The first peak of the contact discharge specified in this document is a proportion of 3,75 A/kV and is a setting of a discharge current lower than several kilovolts for air discharge, but above 5 kV, so that it always exceeds the air discharge current. For the second peak, discharge current due to charge transfer which is approximately equivalent to that of both air discharge and contact discharge is obtained.

When there are good conditions for air discharge, a discharge current rise time of very high speed of about 0,3 ns has been observed, but the discharge distance is very short with a low charging voltage.

Since air discharge which is applied to the conductive parts inside an enclosure which will possibly not be accessible as specified in this document, an air discharge gap between the discharge tip and inner object is at least 1 mm, so there will not be a high-speed rise time. The contact discharge maintains 0,8 ns at any applied voltage which is a sufficiently severe condition.

At low voltage, the discharge current of the first peak increases the current of the air discharge, but this can be countered by raising the applied voltage. In normal environments, a contact discharge of 8 kV can be applied instead of a 15 kV air discharge because the discharge distance is long and the peak current decreases due to spark resistance. However, a 15 kV air discharge in good environmental conditions such as low humidity and clean discharge tip surfaces, is sometimes impossible to contain with an 8 kV contact discharge.

## A.8 Selection of test levels

The test levels should be selected in accordance with the most realistic installation and environmental conditions classes 1 to 4; guidelines are given in Table A.1.

**Table A.1 – Guidelines for the selection of the air discharge test levels from the human body**

| Class | Relative humidity as low as<br>% | Antistatic material | Synthetic material | Maximum voltage<br>kV |
|-------|----------------------------------|---------------------|--------------------|-----------------------|
| 1     | 35                               | x                   |                    | 2                     |
| 2     | 10                               | x                   |                    | 4                     |
| 3     | 50                               |                     | x                  | 8                     |
| 4     | 10                               |                     | x                  | 15                    |

The test levels outlined in Clause 5 are related to the installation and environmental classes above.

It is important, when considering the selection of an appropriate test level for a particular environment, to understand the critical parameters of the ESD phenomenon.

The most critical parameter is perhaps the rate of change of discharge current which can be obtained through a variety of combinations of charging voltage, peak discharge current and rise time.

For example, the required ESD stress for the 15 kV synthetic material environment is more than adequately covered by the 8 kV/30 A class 4 test using the ESD generator contact discharge specified in this document.

However, in a very dry environment with synthetic materials, higher voltages than 15 kV occur.

In the case of testing equipment with insulating surfaces, the air discharge method with voltages up to 15 kV can be used.

### **A.9 Selection of elements for the ESD generator**

A storage capacitance shall be used which is representative of the capacitance of the human body. A typical value of 150 pF has been determined suitable for this purpose.

A resistance of 330  $\Omega$  has been chosen to represent the source resistance of a human body holding a metallic object such as a key or tool. It has been shown that this metal discharge situation is sufficiently severe to represent all human discharges in the field.

ESD generators and their discharge return cables may include ferrite.

### **A.10 Rationale related to the generator specification**

Several reasons have been postulated as being the cause of the reproducibility differences when applying the ESD test to actual EUTs. The test setup, calibration issues, etc. have been considered and proposals to improve the reproducibility of the tests are included in this document.

The two potential technical reasons, with respect to the generator specification, that have been raised as being the cause of reproducibility concerns are:

- the discharge current waveform of the generator after the first peak, i.e. between 2 ns and 60 ns;
- the transient H-field and the transient E-field radiated by the generator when the electrostatic discharge is applied to the EUT.

It was considered that the changes included in this document would improve the reproducibility of the tests. Further investigation can be proposed for future editions of this document in estimating the impact of E-field radiation on reproducibility.

### **A.11 Rationale related to the waveform specification**

The specification of the discharge current waveform of contact discharge specified in 6.2.1 simulates the current waveform of air discharge from a charged human body. The first peak of the human body discharge current waveform, which is the nonlinear phenomenon described above, was determined to be representative of the range of test levels. Due to the use of 150 pF energy storage capacitor, which is larger than the average human body capacitance, the second peak current is larger than the actual discharge current from the human body. The reference curve of the discharge current was represented by an ideal waveform, which was created by superimposing the first peak and the second peak using Heidler's double exponential formula.

## Annex B (normative)

### Calibration of the current measurement system

#### B.1 Current target specification – input impedance

The coaxial current target used to measure the discharge current of ESD generators shall have an input impedance, measured between the inner electrode and ground, of no more than 2,1  $\Omega$  at direct current.

NOTE 1 The target is supposed to measure the ESD current into a perfect ground plane. To minimize error caused by the difference between a perfectly conducting plane and the input impedance of the target, a 2,1  $\Omega$  limit was set for the input impedance. But if the target's input impedance is too low, the output signal will be very small which can cause errors due to coupling into the cables and the oscilloscope. Furthermore, when a much lower resistance value is used, parasitic inductance becomes more severe.

NOTE 2 The input impedance and transfer impedance ( $Z_{\text{sys}}$ , Clause B.3) can be measured with high accuracy at direct current or at low frequency.

#### B.2 Current target specification – insertion loss

##### B.2.1 Measurement chain

Instead of specifying the insertion loss of the coaxial current target, the insertion loss of the measurement chain consisting of the target, attenuator and cable is specified. This simplifies the measurement system characterization, as it will only be necessary to characterize this chain and the oscilloscope instead of each element individually.

The variation of the insertion loss of the target-attenuator-cable chain shall not exceed:

$\pm 0,5$  dB, up to 1 GHz

$\pm 1,2$  dB, 1 to 4 GHz.

With respect to the nominal value  $S_{21}$  of the insertion loss:

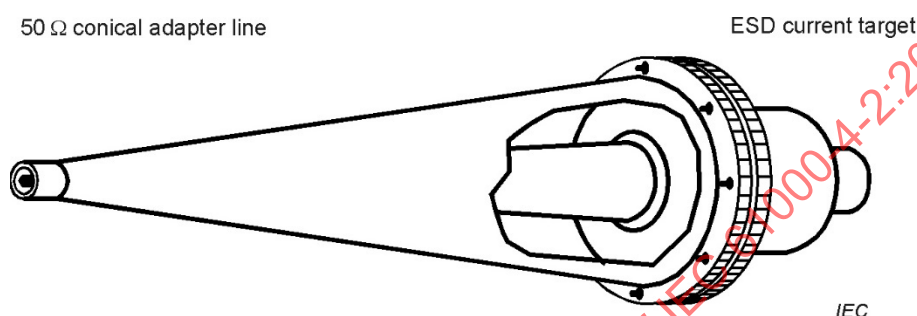
$S_{21} = 20 \log [2Z_{\text{sys}} / (R_{\text{in}} + 50 \Omega)]$  dB, where  $R_{\text{in}}$  is the DC input impedance of the target-attenuator-cable chain, when loaded with 50  $\Omega$ .

NOTE Different calibration time intervals can be used for the DC transfer impedance and the more involved insertion loss measurements. If a repeated DC transfer impedance measurement shows a result which differs from the original measurement by less than 1 %, the user can assume the insertion loss of the target-attenuator-cable chain has not changed, providing the same cable and attenuator are used and no other indications (e.g., loose or damaged connectors) indicate otherwise.

The target-attenuator-cable chain should always be considered as one entity. As soon as one element gets exchanged, or even when it gets disassembled and re-assembled, the whole chain shall be re-calibrated in order to ensure compliance with the specification.

### B.2.2 Target adapter line

The target adapter line shown in Figure B.1 connects a 50  $\Omega$  coaxial cable to the input of the ESD current target. Geometrically, it smoothly expands from the diameter of the coaxial cable to the target diameter. If the target is made such that the impedance calculated from the diameter ratio " $d$ " to " $D$ " (see Figure B.2) is not equal to 50  $\Omega$ , the target adapter line shall be made such that the outer diameter of its inner conductor equals the diameter of the inner electrode of the current target. The impedance shall be calculated using the dielectric constant of the material that fills the conical adapter line (typically air). The target adapter line shall maintain  $(50 \pm 1) \Omega$  within a 4 GHz bandwidth. The return loss of two target adapter lines placed face-to-face shall be  $> 30$  dB up to 1 GHz and  $> 20$  dB up to 4 GHz with a total insertion loss of less than 0,3 dB up to 4 GHz.



NOTE Other shapes than conical can meet the specifications in Annex B.

Figure B.1 – Example target adapter line attached to current target

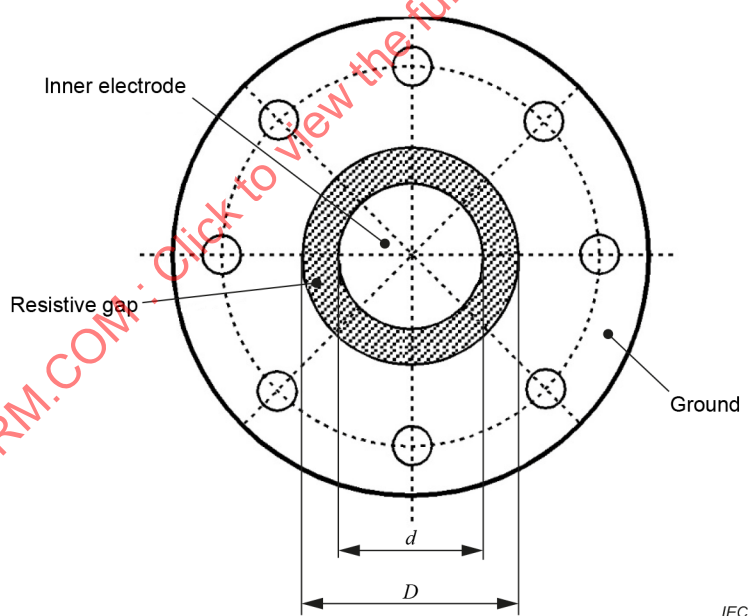


Figure B.2 – Example front side of a current target

### B.2.3 Determining the insertion loss of a current target-attenuator-cable chain

The insertion loss of the chain is determined with a vector network analyzer (VNA). Other systems to measure magnitude insertion loss can also be used, provided that sufficient accuracy can be achieved.

The measurement procedure for the insertion loss is the following:

- Calibrate the network analyzer at the calibration points shown in Figure B.3.

If no network analyzer is used, the procedure should be modified accordingly.

NOTE 1 Instead of direct current the lowest frequency available with the network analyzer will be used. The DC characteristics are measured separately.

NOTE 2 The stability of the centre contact of two adapter lines or of adapter line and target will be verified through repeated measurements, disconnecting and reconnecting the devices using different centre line angles.

- Connect a target adapter line to the target-attenuator ( $\geq 20$  dB)-cable chain and insert it as shown in Figure B.3.
- Measure the insertion loss.

The insertion loss variation shall meet the requirements specified in Clause B.2.

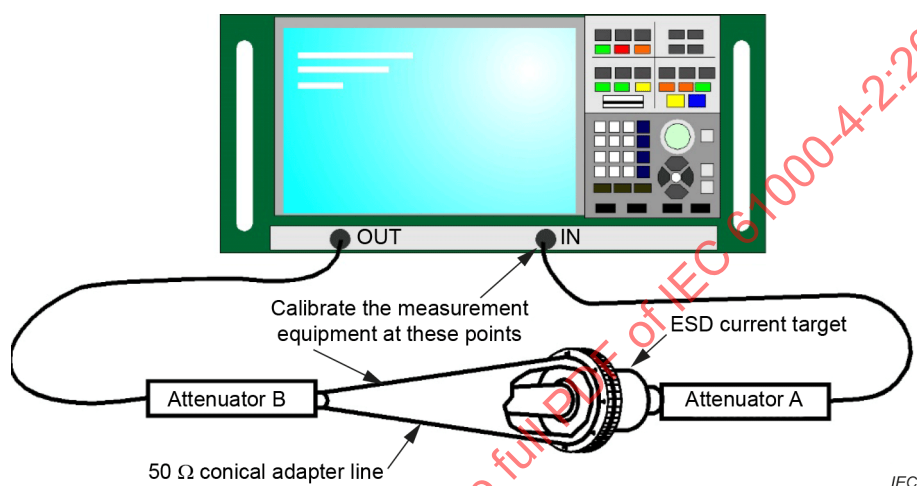


**Figure B.3 – Example measurement of the insertion loss of a current target-attenuator-cable chain**

### B.3 Determining the low-frequency transfer impedance of a target-attenuator-cable chain

Figure B.4 represents a circuit diagram for the target-attenuator-cable chain. The low-frequency transfer impedance of a target-attenuator-cable chain is defined as the ratio between the current injected to the input of the target and the voltage across a precision  $50\ \Omega$  load at the output of the cable (i.e., which is placed at the end of the cable instead of the oscilloscope).

In an ESD measurement, an oscilloscope displays a voltage  $V_{\text{osc}}$  if a current  $I_{\text{sys}}$  is injected into the target. To calculate the unknown current from the displayed voltage, the voltage is divided by a low-frequency system transfer impedance  $Z_{\text{sys}}$ .

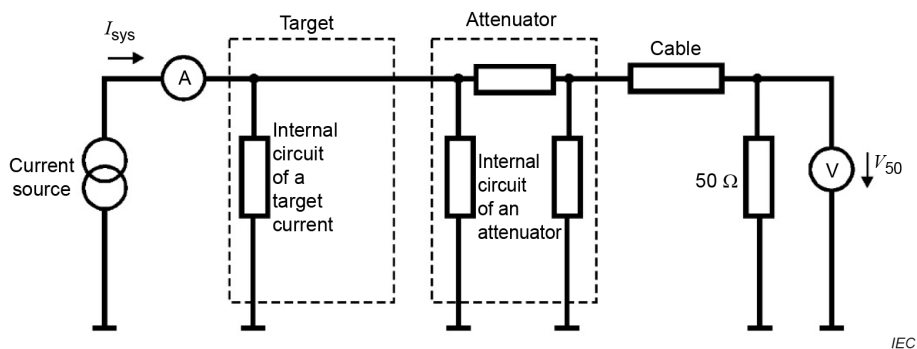


**Figure B.4 – Example circuit diagram to determine the low-frequency system transfer impedance**

The low-frequency system transfer impedance of the target-attenuator-cable chain can be determined by:

- injecting a current  $I_{\text{sys}}$  of approximately 1 A into the front side of the current target. The front side is the side to which discharges are made;
- using  $Z_{\text{sys}}$  which is the key quantity for the generator calibration. The 50 Ω load shall have a tolerance of maximum of  $\pm 1$  %;
- measuring the voltage  $V_{50}$  across the precision 50 Ω load;
- calculating the transfer impedance as follows:

$$Z_{\text{sys}} = \frac{V_{50}}{I_{\text{sys}}}$$

NOTE To verify that thermal voltages do not influence the result, the measurement can be done with positive and negative current. Both results will be within less than 0,5 % of each other.

## Annex C (informative)

### Example of a calibration target meeting the requirements of Annex B

Figure C.1 to Figure C.5 give construction details of a target which meets the requirements of Annex B. This target is designed to give a flat insertion loss if 1 m of RG 400 cable is used. It is suggested to connect a 20 dB or larger attenuator directly to the target's output port to avoid multiple reflections.

NOTE Figure C.1 to Figure C.5 are examples; therefore no tolerances are specified.

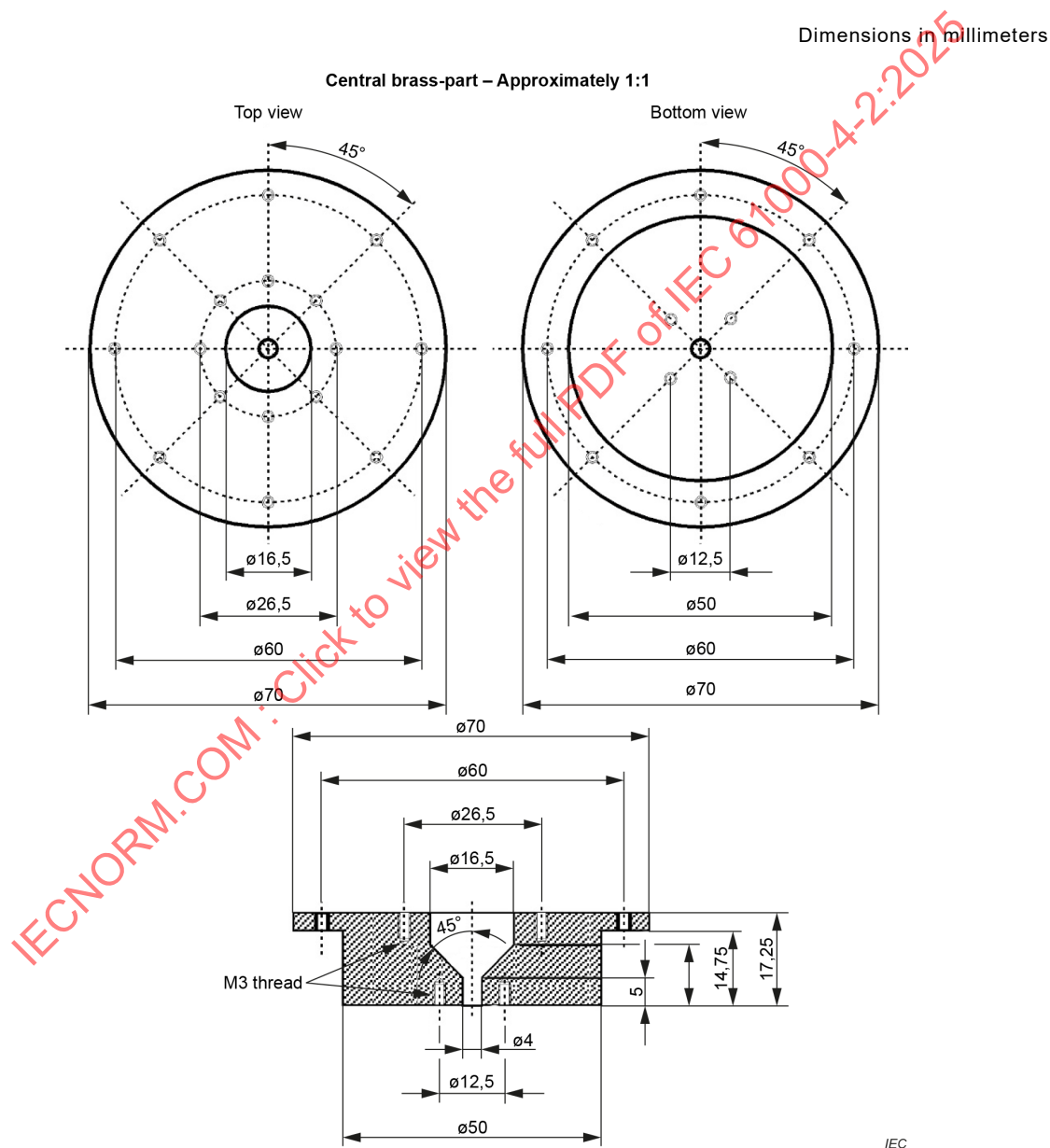
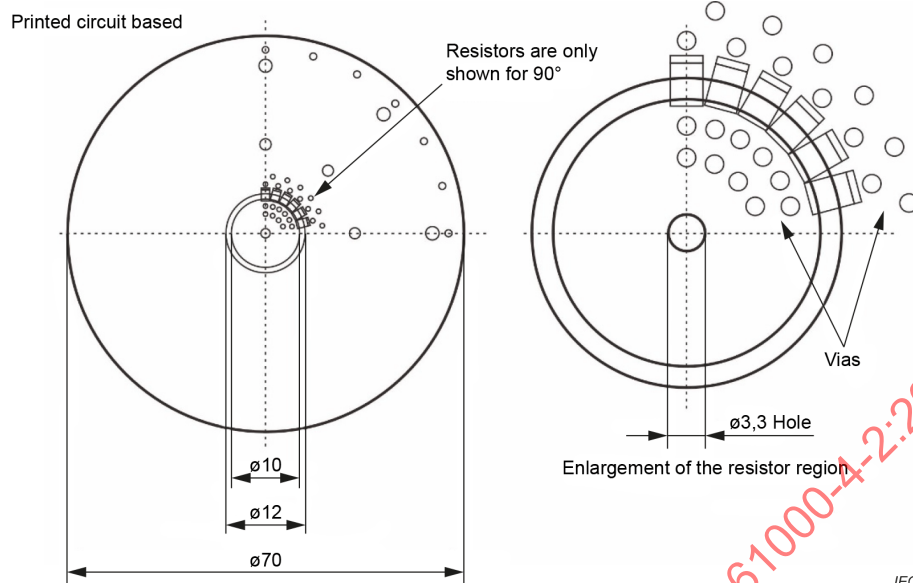


Figure C.1 – Mechanical drawing of a coaxial target showing central brass part

Dimensions in millimetres

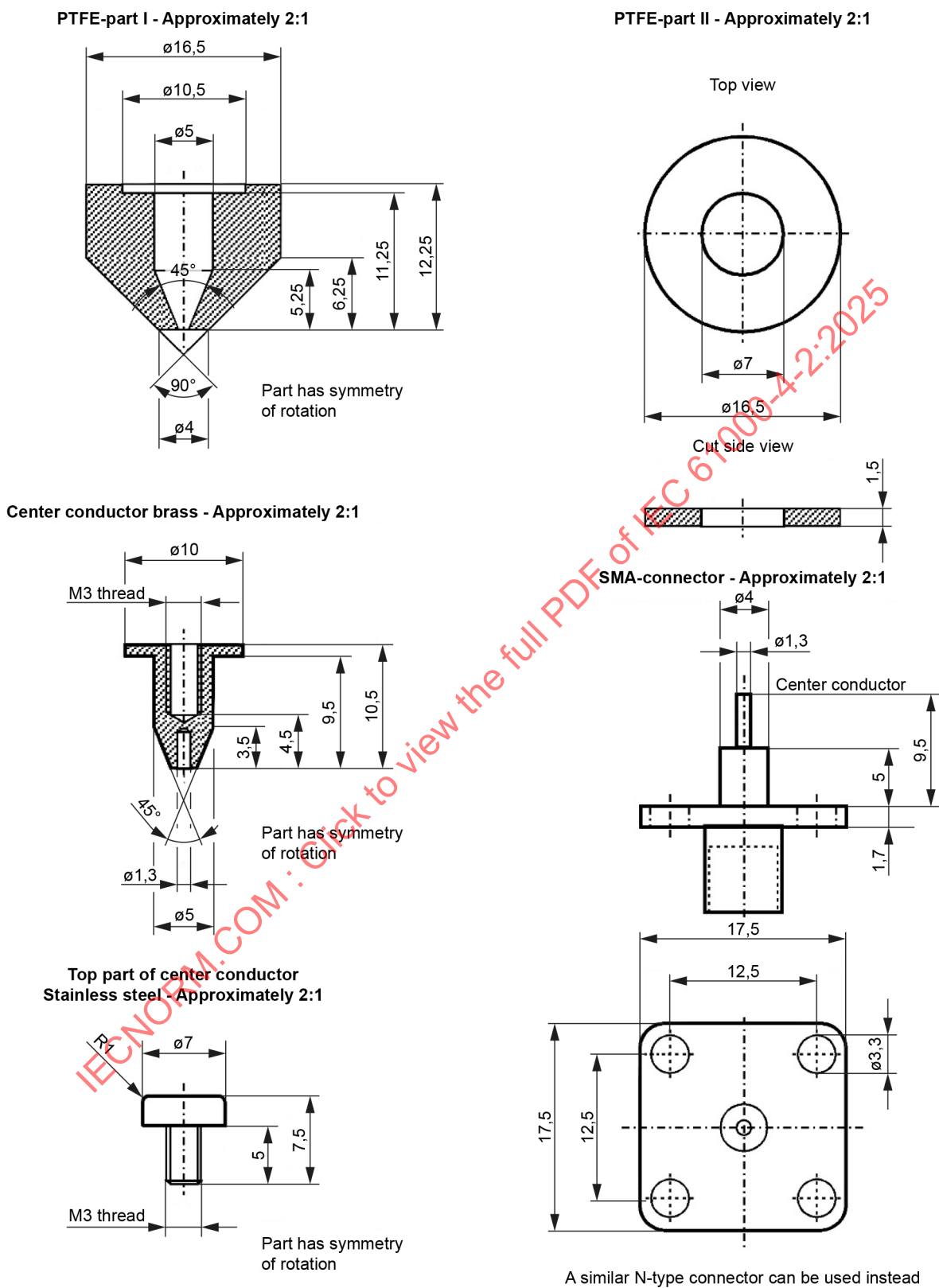


**Key**

|               |                                                                                                                                                              |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Resistor size | 0805                                                                                                                                                         |
| Value         | 51 $\Omega$                                                                                                                                                  |
| Placement     | touching, exactly symmetric (use a template)                                                                                                                 |
| Material      | 0,5 mm FR-4, gold-plated                                                                                                                                     |
| Vias          | two rings of vias on each side of the resistors plus one ring close to the outer edge of the printed circuit board. Approximately 25 resistors are necessary |

**Figure C.2 – Mechanical drawing of a coaxial target showing PCB and resistors**

Dimensions in millimetres



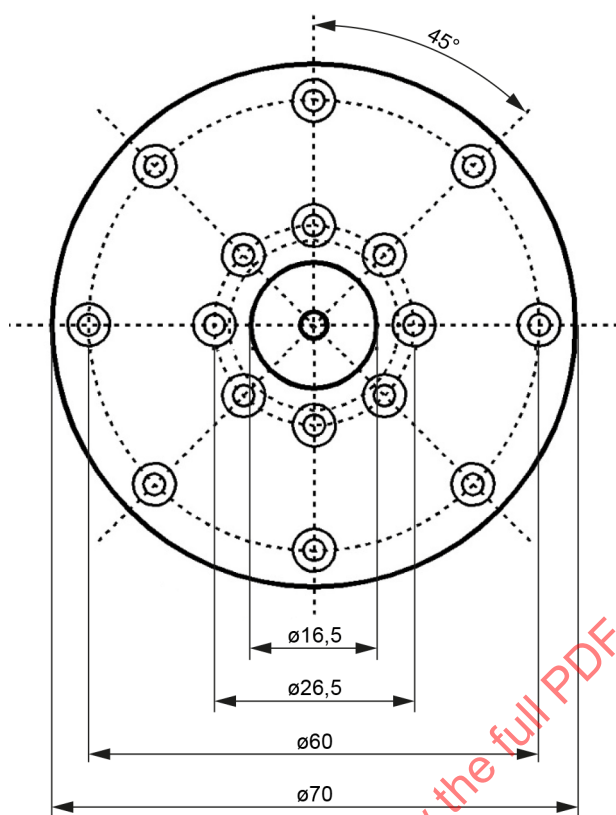
IEC

Figure C.3 – Mechanical drawing of a coaxial target showing PTFE part

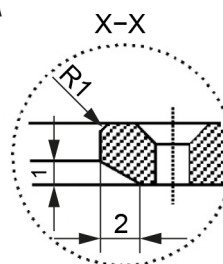
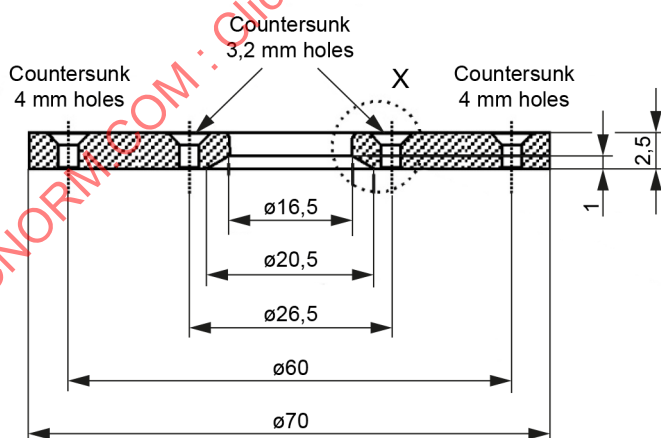
Dimensions in millimetres

Cover: stainless steel - Approximately 1:1

Top view



Cut side view



IEC

Figure C.4 – Mechanical drawing of a coaxial target showing the cover

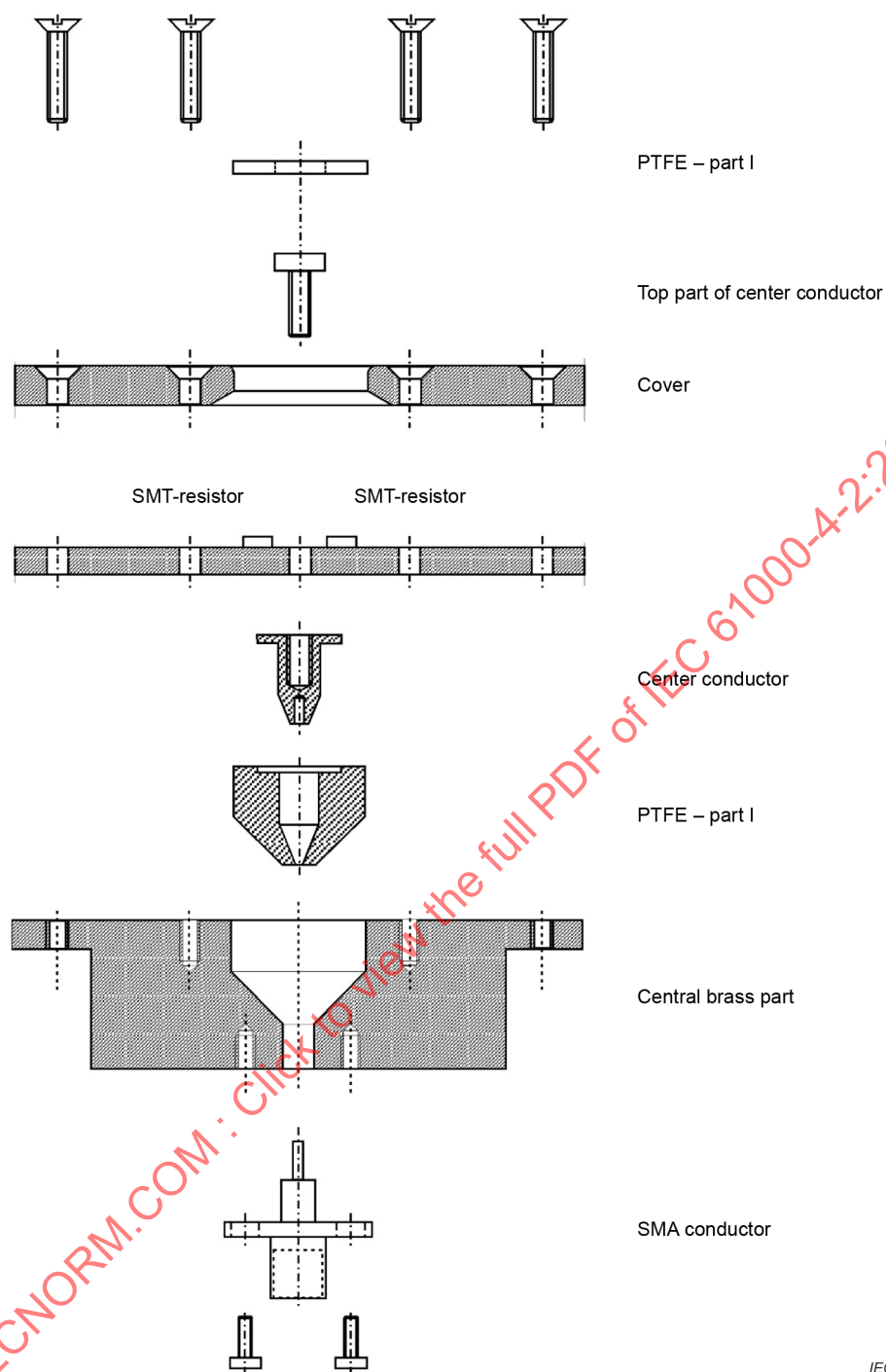


Figure C.5 – Mechanical drawing of a coaxial target showing the mechanical assembly

## Annex D (informative)

### Radiated fields from human metal discharge and ESD generators

#### D.1 Overview of the processes causing intended and unintended fields

##### D.1.1 General

The electrostatic discharge from a human (via a small, hand-held metal piece) is the basis for the current waveform specified in this document and its predecessors. This discharge from a human, as well as the discharge from an ESD generator, are responsible for generating associated strong electromagnetic fields.

Subclause D.1.2 first reviews the process of a human discharge, and D.1.3 then reviews the process as it occurs with an ESD generator.

##### D.1.2 Human ESD

For an ESD event from a human to an EUT, the following sequence of events will occur.

- a) As the hand-held metal piece approaches a metallic surface of an EUT and prior to the discharge of current, an electrostatic field exists. There is no (or only very little) current flowing and no relevant magnetic field is present.
- b) Once the discharge is initiated between the hand-held metal part and the EUT, the electrostatic field collapses within the gap between the two. Starting from its initial value it collapses to a voltage across the gap of about 25 V to 40 V within 50 ps to 5 ns. The collapse time depends on spark parameters, voltage, etc. The initial collapse of the electric field is the first step in a series of events that causes strong transient electromagnetic fields.
- c) A current starts flowing on the metal part held by the human and on the EUT. The foremost current front expands with the velocity of light and within about 0,8 ns, it has reached the arm of the person. As the current continues to expand further on the EUT and the arm, it will experience reflections and losses due to radiation and resistance, leading to a complex pattern of current density on both the EUT and the person.
- d) As the discharge process continues, the highest frequency components of the current will be attenuated quickly, mainly due to radiation. The current then becomes smoother (i.e. with less high-frequency content) as time increases and finally the body reaches a new electrostatic equilibrium with the EUT. The remaining charge on the body might not be zero, as the spark might extinguish before the body has completely discharged. If the hand and metal object continue to approach the EUT, a second discharge might occur at a lower voltage leading to a sequence of ESDs, each one at a lower voltage, and each one having a faster rise time (partially attributed to the lower voltage).
- e) During each discharge sequence, an observer located on some point of the hand, body or EUT will observe a charge density prior to the discharge, during the discharge phase a fast-changing current and after the discharge a small remaining charge.
- f) From antenna theory it is known that changing charge densities and changing currents will cause radiated fields. In close proximity the fields are dominated by the current and the charge directly, and in larger distances the current and charge time derivative will determine the fields. The transition region between the close proximity fields (near field) and fields seen at a larger distance (far field) is more complex. Measurements and simulations have shown that transient fields of ESD, at least for the most disturbing first nanoseconds, will reach far field conditions at a distance of 10 cm from the spark.
- g) From the above it is clear that the current and charge time derivative are extremely important regarding upset (non-destructive error) of electronic systems.

- h) Note that in a human discharge, the current and charge derivatives are determined by the collapse time of the voltage in the spark. Thus, the current rise time at the discharge determines the high-frequency components.

From the above, it is clear that the transient fields of a human-metal ESD are an important part of the ESD process. An ideal ESD generator would reproduce them in some quantified fashion. The field strengths of human-metal ESD, etc., are well known.

### D.1.3 ESD generator

The next step is to analyze and compare the process that occurs in present ESD generators. As most ESD testing is performed in the contact mode, for reasons of reproducibility, the following is limited to contact mode ESD generators.

- a) The discharge tip of the ESD generator is contacted to a grounded (in most cases) part of the EUT.
- b) Prior to the discharge, a capacitor is charged within the ESD generator. In many designs most of the electrostatic field resulting from the charging process is confined within the ESD generator. As a result, the electrostatic field in the vicinity prior to the discharge is much less than the electrostatic field one would measure at the same point from a human charged with the same voltage.
- c) The discharge is initiated by the closure of a relay internal to the ESD generator. The design of these special relays allows a very good reproducibility of the discharge current; however, because the relay is internal and not at the point at which the ESD generator touches the EUT, the initiation of discharge current flow is quite different from a human discharge.
- d) The voltage collapse times within the relay are very fast, certainly less than 100 ps, which leads to a current wave travelling away from the relay in all directions and on all contacting metal parts and other metal parts in proximity. The current wave will propagate at the velocity of light (in dielectrics at reduced speed). The rise time of this current wave equals the voltage collapse time.
- e) The voltage collapse time is less than 100 ps, but this document requires a current rise time of  $(0,8 \pm 0,2)$  ns measured at the point of contact to the target. To achieve this, measures are designed into the ESD generators that increase the rise time from the very low value within the relay to the standardized values at the discharge tip.
- f) The transient fields are caused by all current time derivatives and charge density time derivatives. An important difference between the discharge from a generator and that from a human with metal shall be noted: For a human discharge the current rise time at the spark is the fastest process and it determines the spectrum of the transient fields. However, with an ESD generator in contact mode the high-frequency spectrum is determined by the voltage collapse of the relay, not by the current rise time at the discharge tip.
- g) Since all the changing currents in the generator cause transient fields, there is a contribution of the 100 ps rising currents in the relay to the transient fields from an ESD generator, as well as the contribution from the  $(0,8 \pm 0,2)$  ns rising currents at the point of discharge. The transient fields caused by the faster events in the generator are in general unwanted transient fields since they increase the high-frequency content of these radiated fields beyond those developed from an equivalent human-metal discharge having the same current rise time and peak value at the point of discharge.

From the above it can be seen that the strength of the contribution of the fast-rising currents to the transient fields is strongly dependent on the design of the ESD generator. This field contribution might be well suppressed, or it might dominate the transient fields in any given generator. Unfortunately, these contributions are not regulated in this document resulting in the possibility that upset events during ESD testing can be highly dependent on the specific generator being used.

## D.2 EUT response to ESD testing

During an ESD test the response of an EUT to a broad range of electrical disturbances is tested. The range includes: Voltage for dielectric breakdown, secondary breakdown at a gap away from the injection point, current for RI drop, magnetic field for  $Ldi/dt$  drop, magnetic fields for induced voltage, and electric fields for induced voltages (fields can be in both far fields and near fields). In this regard an ESD test differs from EMI testing by combining multiple tests into one.

Some examples of EUT failures due to different disturbances of the ESD test are:

- discharge into a connector pin causing damage to an IC;  
in this example the energy dissipated in the IC, the maximum current or the charge transferred through the IC will most likely determine the damage threshold;
- discharge through a gap in a plastic enclosure allowing a spark to reach an IC;  
in this case the ESD test determines the dielectric breakdown strength of the gap through the plastic seam;
- discharge to a chassis causing the system contained in the chassis to become upset.  
In this example, it is most likely that the transient fields of the ESD event coupled into traces, wires or directly into ICs of the system, cause voltages or currents that will upset the logical function of the system.

The coupling mechanism from the current within the ESD generator to the fields is dominated by the current's time derivative, even at relatively moderate distances of for example 20 cm. Further, the coupling between the field and a wire, trace or IC in an EUT is a function of the rate of change of the electric and the magnetic field. In summary the time derivatives involved both in the field creation and in the induction process contribute to the injected current, which leads to different pulse shapes for the current at the discharge tip and to different induced voltages in traces due to the fields. The induced voltages in traces typically have a width much narrower than the initial ESD discharge current as specified in this document, and they can exhibit ringing.

Due to the dependence of the transient fields on the design of the specific ESD generator (especially those field components with energy at frequencies above 300 MHz) it will be expected that the induced currents on a trace, wire or within an IC are strongly affected by the specific design of the ESD generator. This could lead to large variation of test results (in most cases system upset, not destruction) if the same EUT is tested with different ESD generators and if the manufacturer of the ESD generator has not taken precautions to minimize the unwanted part of the electromagnetic fields that are caused by the fast voltage collapse within the relay. Note that these differences in test results only occur if the EUT is sensitive to high frequency fields, mainly  $> 1$  GHz.

## D.3 Transient fields of ESD reference event

Transient fields of human metal ESD having rise times of about 850 ps at 5 kV charge voltage have been measured. An ideal ESD generator should reproduce these fields for 5 kV contact mode testing. To obtain the data, broadband ( $\pm 1$  dB between 1,5 MHz and 1,5 GHz) field sensors have been placed on the vertical reference plane at a distance of 0,1 m from the discharge point, i.e. target position.

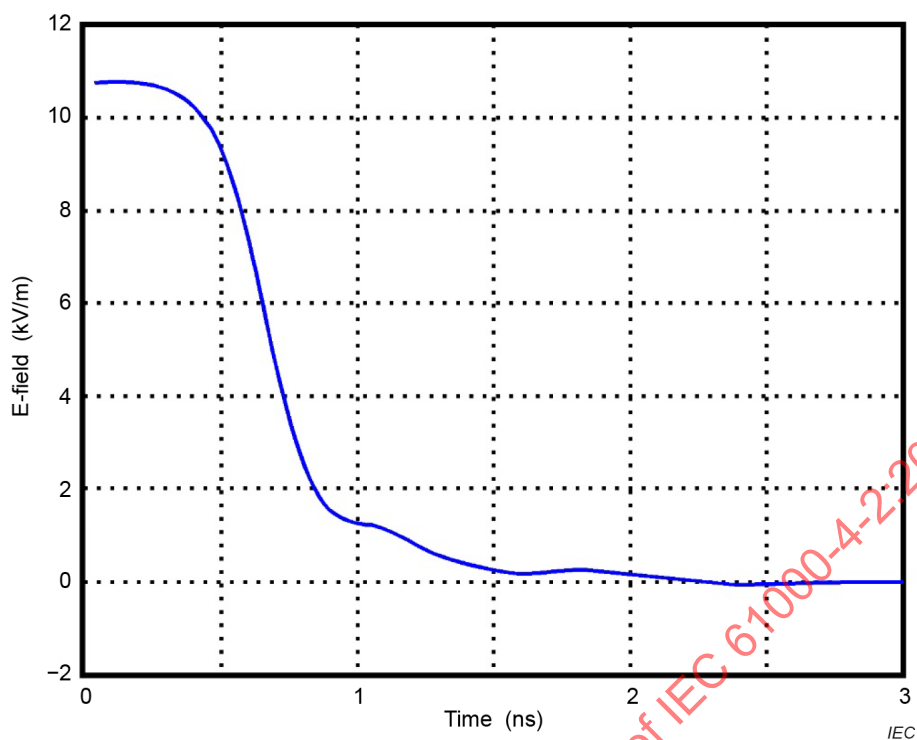


**Figure D.1 – Electric field of a real human, holding metal, charged at 5 kV measured at 0,1 m distance and for a spark length of 0,7 mm**

The electrostatic field dominates the electric field. The field decreases from the electrostatic value to 20 % of its initial value in a fall time, which is similar to the current rise time (see Figure D.1).

An example of a magnetic field is shown in Figure D.2, based on a discharge current having a 500 ps rise time.

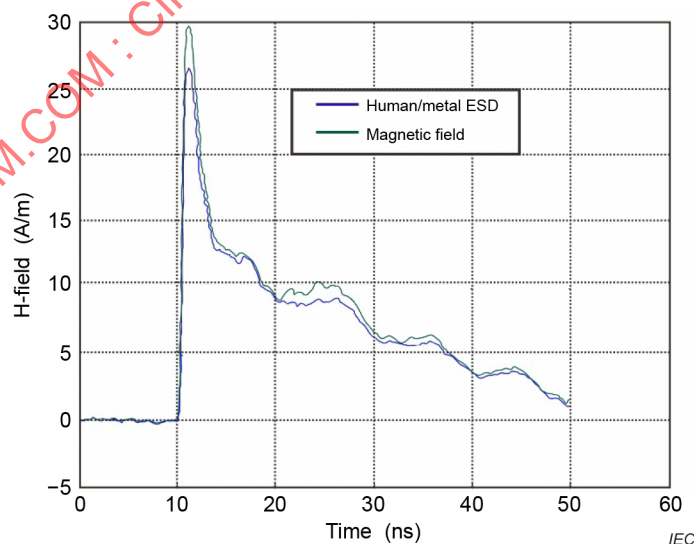


**Figure D.2 – Magnetic field of a real human, holding metal, charged at 5 kV, measured at 0,1 m distance and for a spark length of approximately 0,5 mm**

The magnetic field waveform follows the current waveform.

A possible problem in field waveforms from ESD generators is ringing. Field values from the ESD generators can be far less or far greater than the human/metal field waveforms, depending in a large degree on the angle with which the ESD generator and the discharge return cable are oriented to the field sensor.

#### D.4 Induced voltage in a small loop

The transient fields of the ESD will induce voltages in traces on PC boards. If a small loop is placed on a ground plane, a measurement of the high-frequency content of the transient fields can be derived in a way that does not require calibrated broadband field sensors and that reflects the process of induction into a trace more directly than the field measurement. A test setup is shown in Figure D.3.

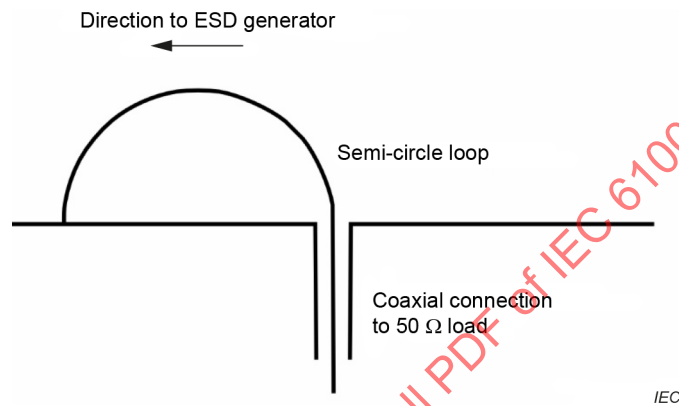


**Figure D.3 – Semi-circle loop on the ground plane**

In Figure D.3 the loop radius is 14 mm. The wire diameter is 0,7 mm. The loop is placed at a distance of 0,1 m from the ESD generator.

Typical induced voltages of human metal ESD at 5 kV having approximately 850 ps rise time are shown in Figure D.4.

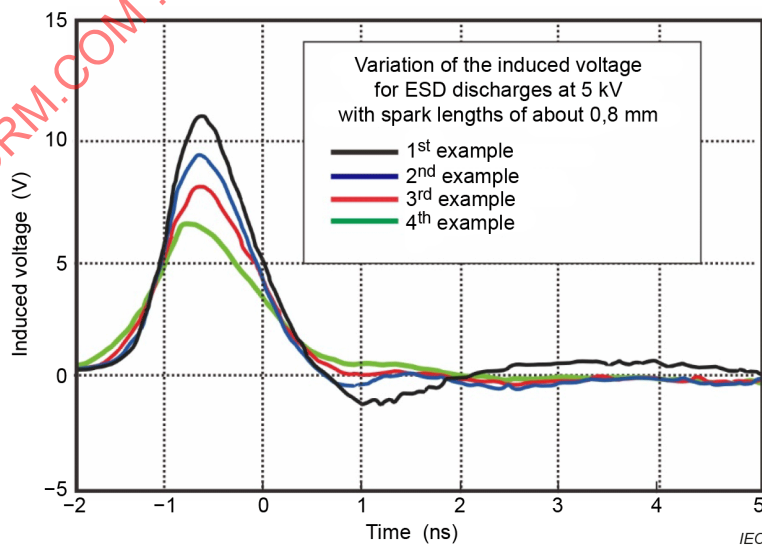


**Figure D.4 – Voltages induced in a semi-loop**

In Figure D.4, the loop radius of 14 mm is placed at a distance of 0,1 m for human-metal ESD (5 kV, rise time about 850 ps, spark length around 800  $\mu$ m). The semi-loop is loaded with 50  $\Omega$ .

## D.5 Measuring radiated fields due to an ESD by using commercial field probes and ESD generators

An example of a test setup to measure radiated ESD fields is shown in Figure D.5.

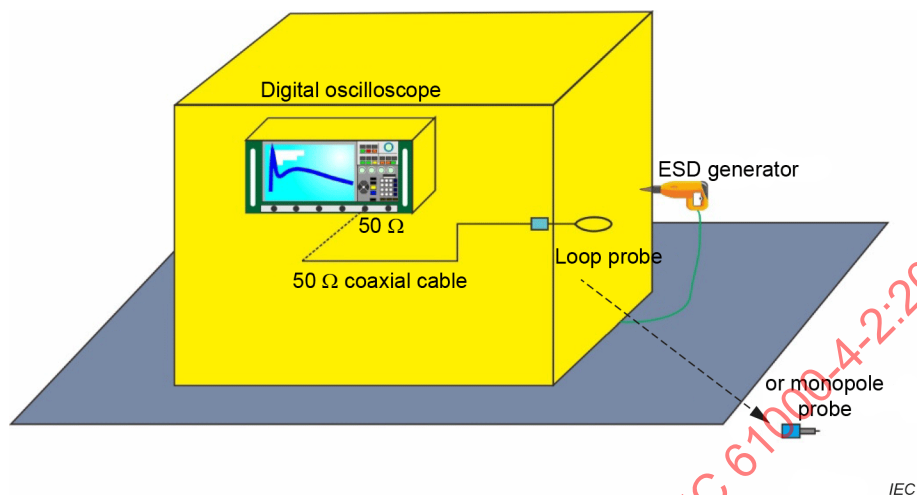


**Figure D.5 – Example test setup to measure radiated ESD fields**

To measure E- and H-fields, the following instruments should be used:

- memory digital oscilloscope with a bandwidth of at least 2 GHz;
- set of commercial H- (small loop with shield for  $E$  rejection) and E-field (small monopole) probes;
- 50 Ω coaxial cable;
- ESD generator.

Measurement setup (see Figure D.5):

- The measurements should be carried out in a shielded room (not necessary if the environment does not produce significant interference).
- The ESD generator should be set to 5 kV.
- ESD discharge current should be measured according to the setup reported into the standard for comparison with the ESD reference mathematical waveform.
- The digital oscilloscope should be within a shielded enclosure.
- The field probes should be connected to the oscilloscope by a 50 Ω coaxial cable and positioned at the edge of the shielded box as indicated in Figure D.5.
- The coaxial cable should be positioned in a manner to prevent possible pickup of radiated fields (e.g. coaxial cable very close to the box and shield cable connected to the box).
- The voltage drop on the 50 Ω impedance of the oscilloscope will be measured.
- The ESD should be performed by contact mode on a large surface of the shielded enclosure.
- The ESD generator should be shifted to measure the radiated fields at more than one distance from the probes.

$E$  and  $H$  calculation from measured induced voltage into the probe load:

- Measure with a digital oscilloscope the voltage drop  $v(t)$  on a load of  $50\ \Omega$  due to radiated fields produced by ESD generator.
- Calculate  $V(\omega)$  as the Fourier transform (FT) of  $v(t)$ .
- Calculate or measure the transfer function  $T(\omega)$  for the field probe used.
- Calculate  $E(t)$  and  $H(t)$  fields as inverse Fourier transform (IFT) of  $V(\omega)/T(\omega)$ .

Some results are shown in Figure D.6 and Figure D.7. The numerical simulation data is used to validate and vice versa the procedure of calculating H-field from measured voltage drop data into the loop.

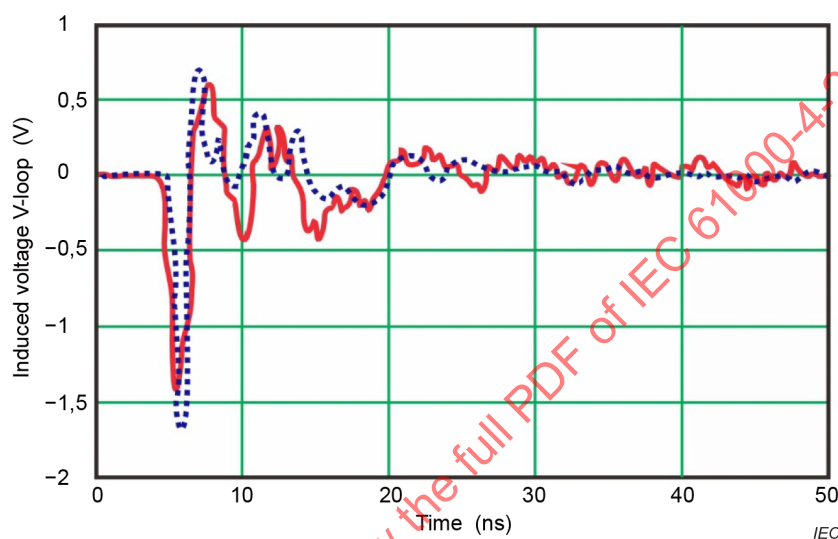


**Figure D.6 – Comparison between measured (solid line) and calculated numerically (dot line) voltage drop on the loop for a distance of 45 cm**

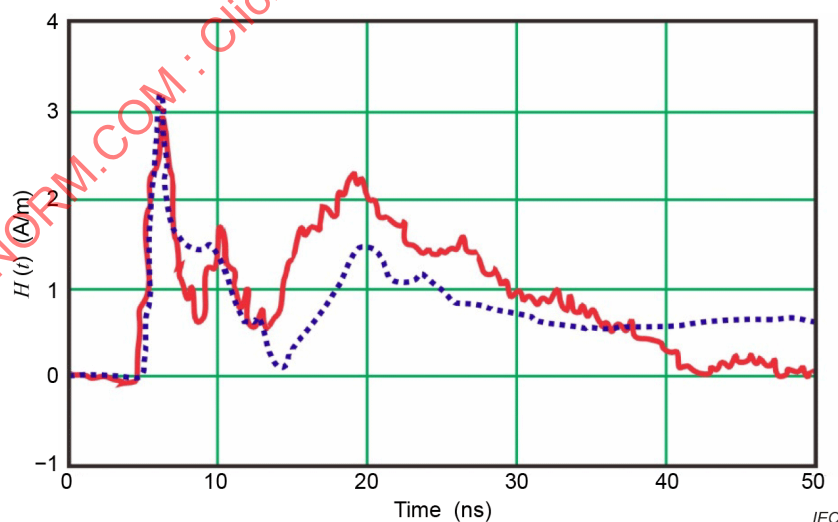


**Figure D.7 – Comparison between calculated H-field from measured data (solid line) and H-field calculated by numerical simulation (dotted line) for a distance of 45 cm**

## D.6 Simple procedure to estimate radiated fields and voltages induced by ESD generators

The following procedure can be used to estimate fields radiated by ESD generators using measured ESD current:

- The ESD current is measured at the discharge tip.
- The victim circuit is considered electrically short and, in first approximation, the per unit line parameters can be neglected.
- Once the interfering fields are known in the time domain, induced voltage can be computed by the equivalent circuit of Figure D.8.
- The contribution of E-field can be neglected for circuits that have at least one low load impedance (e.g. high-speed digital devices).
- H-field is calculated by the simple equation:  $H = I/(2\pi r)$ , where  $r$  is the distance between the discharge tip current and the victim circuit. Other contributions such as current in ESD relay, displacement current, discharge return cable, etc., are neglected.
- Comparison between estimated (worst-case) and actual results obtained from a test-setup is provided to quantify the differences (e.g., see Figure D.9 for H-field).

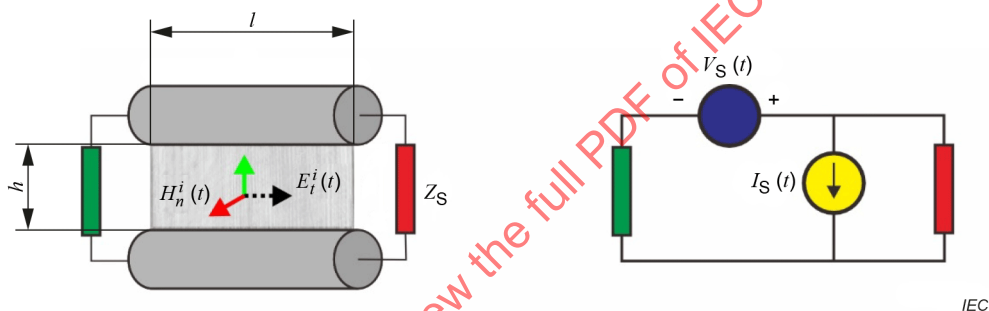


Figure D.8 – Structure illuminated by radiated fields and equivalent circuit

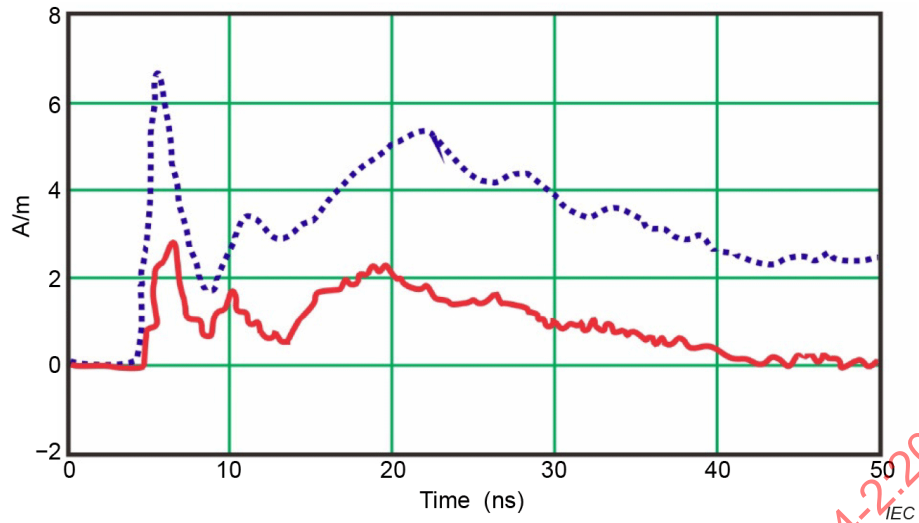
$$V_S(t) = \mu A \frac{\partial}{\partial t} H_n^i(t)$$

$$I_S(t) = C \times l \times h \frac{\partial}{\partial t} E_t^i(t)$$

where

$A = l \times h$  area of the loop

$C$  is the line capacitance/m



**Key**

Radiated H-fields at a distance  $r = 45$  cm

Solid line measured

Dotted line calculated using  $I/(2\pi r)$

$I$  is the measured ESD current

**Figure D.9 – Radiated H-fields**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61000-4-2:2025

## **Annex E** (informative)

### **Selection of test points and number of pulses**

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

The selection of test points for electrostatic discharge tests is based on which parts of the EUT are accessible; considering the impact of possible human discharges to the EUT. Therefore, generally all touchable parts (exclusions are specified in Clause E.2) are subject to electrostatic discharge tests independently of whoever touches the product and how often it is touched. This includes all operators and users, including professionals such as maintenance or service personnel. The selection of test points does not depend on the frequency or probability that a point on the product is touched (e.g. once per month). Furthermore, the electrostatic discharge test is also applicable to all kinds of EUT including indoor and outdoor equipment. Product committees are encouraged to specify test points including the type of discharge which they deem to be necessary and/or important.

In general, instructional safeguards (i.e. caution in manuals) do not have any influence on the selection of test points.

The test points are evaluated and determined when preparing the test plan. The following Clause E.2 to Clause E.5 give guidance on how to select "suitable" test points on the product.

#### **E.2 Exclusions**

Most product committees consider the performance criterion B (see Annex K) to be applicable to their products. This requires that the EUT is in its "normal" operating state when the ESD is applied to any selected test point in order to determine any possible degradation of operation.

Points on the EUT can be excluded when the EUT cannot perform its intended function (e.g. internal parts which are exposed when a cover or door is opened and the EUT operation is disabled). This exclusion implies that the performance criterion B cannot be verified.

Other exclusions can be applied as follows:

- ESD test points for integrated ("built-in") equipment (e.g. switching power supply for a printer; hard disk drive);
- ESD test points related to parts or enclosures, which are not touchable after installation (e.g. wall- or ceiling-mounted surfaces, "bottom" enclosures of floor standing equipment);
- ESD test points and surfaces which are only accessible under maintenance and where special ESD mitigation procedures are specified in the accompanying documentation;
- ESD test points and surfaces which are only accessible under maintenance by the operator for battery compartments including contacts while changing batteries.

Further exclusions are specified in the Clause E.3 and Clause E.4.

### E.3 Guidance for direct contact discharges

Direct contact discharges are generally applicable to metal surfaces and metal parts of the EUT using the contact discharge tip of the ESD generator. The surfaces and metal parts to be tested are accessible by users or operators of the EUT. The following applies in general:

ESD tests are necessary for the following parts:

- terminals for ESD protection (e.g. connecting points for antistatic wrist strap or similar);
- ungrounded metal surfaces;
- metal shell of coaxial- or multi-pin connectors;
- metallic shell of actuators (e.g. lever of switches, key of key-switches);
- metallic shell of connectors (see Table E.1).

**Table E.1 – Cases for application of ESD on connectors**

| Case                                                                                                                                                                                                            | Connector shell | Cover material | Contact discharge to:      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|----------------|----------------------------|
| 1                                                                                                                                                                                                               | Metallic        | None           | Shell                      |
| 2                                                                                                                                                                                                               | Metallic        | Insulated      | Shell when accessible      |
| 3                                                                                                                                                                                                               | Metallic        | Metallic       | Shell and cover            |
| 4                                                                                                                                                                                                               | Insulated       | Metallic       | Cover                      |
| 5                                                                                                                                                                                                               | Insulated       | None           | Metal pins when accessible |
| NOTE In case a cover is applied to provide (ESD) shielding to the connector pins, the cover or the equipment near to the connector to which the cover is applied and the cover is labelled with an ESD warning. |                 |                |                            |

Further direct discharges are not necessary on the following:

- outer metal enclosures of equipment which are connected to PE and where no electronic subassemblies are directly mounted for example metal enclosures of AC motors, which are connected to PE (e.g. housing);
- any parts marked with an ESD warning label.

### E.4 Guidance for air discharges

Air discharges are generally applicable to insulated surfaces and insulated parts of the EUT using the air discharge tip of the ESD generator. The surfaces and parts to be tested are accessible by users or operators of the EUT. The following applies in general:

Air discharge tests are necessary for the following parts:

- insulated surfaces including touch screens (e.g. display, operator panels or similar);
- enclosures of class II equipment (double insulation);
- insulated shell of coaxial or multi-pin connectors;
- insulated shell of actuators (e.g. push button switches);
- non-conductive enclosures of class III equipment (e.g. keyboard, mouse);
- non-conductive ventilation openings and seams;
- areas on insulated enclosures that are nearest to conductive portions of the enclosed circuitry;
- other points that are likely to be touched by the human body, such as any surface of a portable product, or by another charged surface, especially near enclosure seams and apertures.

Air discharge tests are not necessary on the following parts:

- parts marked with an ESD warning label;
- parts in such proximity to metal surfaces that the discharge strikes the metal surface, provided that the metal surface is tested with contact discharge.

## **E.5 Guidance for indirect discharges**

Indirect discharges are contact discharges to the HCP or VCP. They generally produce a field which can cause degradation of performance particularly in sensitive electronic equipment or subassemblies. Because ESD is applied to the HCP or VCP via direct discharges by a specified method, this guidance focuses on where to place the VCP relative to the kind of EUT surface to be illuminated, whereas the HCP is always beneath the EUT.

It is unlikely that fields generated by indirect ESD discharges on coupling plates will have any effect on metal surfaces (enclosures) of the EUT, especially when they are connected to PE; i.e. such tests are not appropriate.

Indirect discharge tests are generally performed in the vicinity of non-conductive surfaces (enclosures) of the EUT as well as for ungrounded equipment regardless of their surface material.

## **E.6 Investigatory testing**

Investigatory testing can be used for guidance in the selection of test points. Because the frequency content delivered in air discharge changes both with spark length and test voltage, discharges with gradually increasing voltage should be applied during investigatory testing. Beginning the investigation at lower test levels reduces the chance of EUT damage and increases the likelihood that upsets are noted.

Air discharge investigation on accessible nonconductive parts of the EUT is performed first, followed by contact discharge investigation on conductive and accessible parts of the EUT and the edges of the VCP and HCP. This is accomplished by setting the ESD generator alternately to air or contact discharge modes and by doubling the number of discharges applying the same discharge interval so upsets can be noted quickly. The object of this testing is to indicate susceptible areas of the EUT so that more detailed testing can be performed in those areas.

The voltage is set to a lower level (e.g., 2 kV) and the air discharge tip is oriented perpendicularly to the nonconductive areas of the product being investigated and scanned at various separation distances to identify candidate test points. If no upsets are noted at the initial test voltage, the voltage is increased to the next level (e.g. 4 kV) and the investigation continues.

Contact discharge investigation on conductive parts of the EUT is evaluated similarly, starting at the specified test level and performed with a repetition rate of for example 20 Hz. If a susceptible point is identified, the repetition rate should be decreased up to the time interval between discharges specified by the product committee (1 s can be used when no interval has been specified). Time intervals lower than 1 s are not recommended.

Test points selected for contact discharge and air discharge during investigatory testing should be indicated either by stick-on arrows applied to the EUT or arrows and labels added to photographs of the EUT. Colour coding or shading can be used to distinguish between contact and air discharge test points.

## E.7 Number of pulses for direct contact discharges

The main purpose of this guideline is to obtain a better pass/fail criterion when direct contact discharges are applied. The number of pulses largely depends on what kind of circuits – i.e. analogue or digital – are installed behind the metal enclosures subject to direct contact discharges; i.e. in order to specify the number of pulses by Product committees or laboratories, it is necessary to review the internal structure of the EUT. Because digital circuits operate at higher speed, the number of pulses applied is generally much higher as for analogue circuits. For example:

- in case the EUT comprises analogue circuits, 10 pulses are generally applied. Usually identical number of pulses is applied for both polarities;
- in case the EUT comprises digital circuits, 20 pulses per polarity are usually applied. In order to reduce testing time, the pulse rate can be increased to five pulses per second, if sufficient decay time can be achieved; for example in particular for grounded metal enclosures.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61000-4-2:2025

## **Annex F** (informative)

### **Measurement uncertainty (MU) considerations**

#### **F.1 General**

The reproducibility of EMC tests relies on many factors, or influences, that affect the test results. These influences can be categorized as random or systematic effects. The comparison of the realized disturbance quantity with the disturbance quantity specified by this document is usually carried out through a set of measurements (e.g. measurement of the rise time of a current impulse with an oscilloscope by using the current measurement system specified in Annex B). The result of each measurement includes a certain amount of measurement uncertainty (MU) due to the imperfection of the measuring instrumentation as well as to the lack of repeatability of the measurand itself.

In order to evaluate MU, it is necessary to:

- identify the sources of uncertainty related both to the measuring instrumentation and to the measurand;
- identify the functional relationship (measurement model) between the influence (input) quantities and the measured (output) quantity;
- assign a probability density function to each of the input quantities;
- calculate the interval containing, with a high coverage probability, the possible values of the measurand.

In immunity tests, intervals are evaluated for the parameters of the disturbance quantity (e.g. rise time, peak and duration). As such, they describe the degree of agreement of the disturbance quantity with the relevant specifications of this document.

These intervals, derived for a particular disturbance quantity, do not characterize the degree of agreement between the simulated electromagnetic phenomenon, as specified in this document, and the real electromagnetic phenomenon in the world outside the laboratory.

Since the effect of the parameters of the disturbance quantity on the EUT is a priori unknown and in most cases the EUT shows a nonlinear behaviour, a single interval cannot be assigned to the disturbance quantity. Therefore, each of the parameters of the disturbance quantity is accompanied by the corresponding interval. This yields more than one uncertainty budget.

#### **F.2 Legend for contact and air discharge current waveform parameters**

|          |                                                                                                                                                                                                                   |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $I_{p1}$ | first peak of the discharge current waveform                                                                                                                                                                      |
| $I_{p2}$ | second peak of the discharge current waveform (maximum current, which occurs in the time frame of 10 ns to 40 ns from the instant when the current first reaches 10 % of the first peak of the discharge current) |
| $t_r$    | rise time of the discharge current waveform (10 % to 90 % of the first peak)                                                                                                                                      |
| $I_{30}$ | level of the discharge current waveform at 30 ns                                                                                                                                                                  |
| $I_{60}$ | level of the discharge current waveform at 60 ns                                                                                                                                                                  |

### F.3 Limitations

The following limitations and conditions apply to the considerations in this document:

- all contributions to MU are assumed to be independent;
- a coverage probability of 95 % is regarded as acceptable;
- considerations apply to both air discharge (AD) and contact discharge (CD). The parameters of the AD and CD measured waveforms are indeed expected to be essentially identical (absolute deviation within the expanded uncertainty). If this is not the case, then the origin of this discrepancy should be identified, and distinct uncertainty budgets should be prepared for AD and CD.

### F.4 Calculation of a coverage interval

A coverage interval is an interval encompassing a large fraction of the possible values of the measurand.

The coverage interval is calculated using a numerical technique (Monte Carlo method see [7] and [8]) and through the following steps:

- 1) Specify the measurement model formula relating the input quantities  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , and the output quantity  $Y$ , i.e.  $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ .
- 2) Assign a probability density function to each input quantity  $X_1, X_2, \dots, X_n$ .
- 3) Propagate the probability density functions of the input quantities through the measurement model equation, thus numerically obtaining the probability density function of the output quantity.
- 4) Calculate the shortest coverage interval  $[y^-, y^+]$  of the output quantity  $Y$  corresponding to a coverage probability of 95 %.

NOTE 1 The shortest coverage interval is the significant summary of the probability density function of the output quantity relevant to the expression of MU. If the standard uncertainty  $u(y)$  is also numerically calculated then the best estimate  $y$ , the expanded uncertainty  $U(y)$  and the coverage factor  $k$  can be obtained as  $y = (y^+ + y^-)/2$ ,  $U(y) = (y^+ - y^-)/2$  and  $k = U(y)/u(y)$ . The expanded uncertainty and the coverage factor correspond to a coverage probability of 95 %. The parameters  $y$ ,  $U(y)$  and  $k$  can be reported in place of  $[y^-, y^+]$ .

NOTE 2 The coverage interval can be probabilistically symmetric or the shortest coverage interval. The shortest coverage interval is adopted here. The probabilistically symmetric and the shortest coverage intervals are coincident in case of symmetric probability density function.

NOTE 3 The meaning and the relations among the symbols  $y$ ,  $u(y)$ ,  $k$ ,  $U(y)$ ,  $a^+$  and  $a^-$  are explained in [7] and [8].

NOTE 4 For Annex F, numerical computations were performed using the NIST uncertainty machine<sup>2</sup> (see <https://uncertainty.nist.gov/>).

Example uncertainty budgets are provided in Clause F.6. It should be noted that these are intended for guidance. Calibration and test laboratories should identify the actual measurement model, the input quantities, the associated probability density functions and the values of the parameters thereof for the measurement setup in use.

<sup>2</sup> NIST Uncertainty Machine is the trade name of a product supplied by NIST. This information is given for the convenience of users of this document and does not constitute an endorsement by IEC of the product named. Equivalent products may be used if they can be shown to lead to the same results.

## F.5 Uncertainty contributors to the ESD current discharge measurement uncertainty

The following list shows contributors used to assess both the measuring instrumentation and test setup influences:

- reading of the first peak of current discharge;
- reading of the time at 10 % level of the first peak of current discharge;
- reading of the time at 90 % level of the first peak of current discharge;
- reading of the level at 30 ns;
- reading of the level at 60 ns;
- low-frequency transfer impedance  $Z_{\text{sys}}$ ;
- static voltage;
- oscilloscope mismatch;
- target – attenuator – cable chain;
- oscilloscope horizontal axis measurement error;
- oscilloscope vertical axis measurement error;
- bandwidth of the measuring system;
- shape of the impulse response of the measuring system;
- measurement system, measurand and setup repeatability;
- calibration of target, oscilloscope, attenuator.

## F.6 Uncertainty of the ESD generator current discharge measurement

### F.6.1 General

It is recommended to produce independent uncertainty budgets for each measured waveform parameter; i.e.  $I_{p1}$ ,  $I_{p2}$ ,  $I_{30}$ ,  $I_{60}$  and  $t_r$ . The approach adopted here to quantify the estimate and corresponding uncertainty of the measured waveform parameters is specified in F.6.2, F.6.3, F.6.4 and Clause F.5. Table F.1 to Table F.5 include the input quantities that are considered most significant for the relevant uncertainty budget, the details (numerical values, type of probability density function, etc.) of each contributor to MU and the results of the computations required for determining the uncertainty budget.

### F.6.2 Rise time of the ESD current discharge

The measurand is the ESD current discharge rise time, calculated by using the functional relationship

$$t_r = \sqrt{(T_R + \delta S + T_{MM})^2 - T_{MS}^2}$$

where

$$T_{MS} = \frac{\alpha}{B}$$

and:

$T_R$  is the observed rise time;

$\delta S$  is the correction for limited sampling rate;

$T_{MM}$  is the correction for oscilloscope input mismatch;

$T_{MS}$  is the rise time of the step response of the measuring system (10 to 90 %);

$B$  is the –3 dB bandwidth of the measuring system;

$\alpha$  is the coefficient whose value is  $360 \pm 40$  ( $B$  in MHz and  $T_{MS}$  in ns).

**Table F.1 – Example uncertainty budget for ESD current discharge rise time ( $t_r$ )**

| Input quantity                | Estimate | Error bound    | Unit        | PDF**       |
|-------------------------------|----------|----------------|-------------|-------------|
| $T_R$                         | 0,88     | 0,060          | ns          | Rectangular |
| $\delta S$                    | 0        | 0,050          | ns          | Triangular  |
| $T_{MM}$                      | 0        | 0,026          | ns          | Rectangular |
| $\alpha$                      | 360      | 40             | ns·MHz      | Rectangular |
| $B$                           | 3 000    | 50             | MHz         | Rectangular |
| <b>Output quantity and MU</b> |          | <b>Value</b>   | <b>Unit</b> |             |
| $[y^-, y^+]$                  |          | [0,790, 0,953] | ns          |             |
| $u(y)$                        |          | 0,043          | ns          |             |
| $U(y)$                        |          | 0,082          | ns          |             |
| $k$                           |          | 1,9            | 1           |             |
| $y$                           |          | 0.872          | ns          |             |

\*a Probability density function

$T_R$ : is the observed rise time as based on the oscilloscope reading of the time at 10 % ( $T_{10\%}$ ) and 90 % ( $T_{90\%}$ ) of the first peak,  $T_R = T_{90\%} - T_{10\%}$ . Its uncertainty quantifies the lack of repeatability due to the measuring instrumentation, the layout of the measurement setup and the ESD generator itself. It is experimentally determined, recording the minimum value  $(T_R)_{\min} = (T_{90\%} - T_{10\%})_{\min}$  and the maximum value  $(T_R)_{\max} = (T_{90\%} - T_{10\%})_{\max}$  of a sample of five independent observations of  $T_{90\%} - T_{10\%}$ . The assigned probability density function is rectangular with limits  $(T_R)_{\min}$  and  $(T_R)_{\max}$ . It assumes an estimate  $[(T_R)_{\min} + (T_R)_{\max}]/2 = 0,88$  ns and error bound  $[(T_R)_{\min} - (T_R)_{\max}]/2 = 0,060$  ns.

$\delta S$ : This uncertainty contributor is quantified for a sampling frequency of 20 GS/s and trace interpolation capability of the oscilloscope (triangular probability density function). Would this not be the case, a rectangular probability density function should be assigned. For additional and relevant contributors, see F.6.6. The estimate and the error bound are 0 ns and 0,050 ns, respectively.

$T_{MS}$ : is the calculated rise time of the step response of the measuring system. The coefficient  $\alpha$  depends on the shape of the impulse response of the measuring system. The range  $360 \pm 40$  is representative of a wide class of systems, each having a different shape of the impulse response (see Clause F.7 and Table F.5). The bandwidth  $B$  of the measuring system can be experimentally obtained (direct measurement of the bandwidth) or calculated from the bandwidth  $B_i$  of each element of the measurement system (essentially an oscilloscope and the current measurement system specified in Annex B) by using the following formula:

$$\frac{1}{B} = \sqrt{\left(\frac{1}{B_1}\right)^2 + \left(\frac{1}{B_2}\right)^2 + \dots}$$

An estimate of 3 000 MHz and a 50 MHz error bound of a rectangular probability density function are assumed for  $B$ .

$T_{MM}$ : quantifies the rise time measurement inaccuracy due to the input mismatch of the oscilloscope. The maximum error can be estimated from the calibration of the input VSWR of the oscilloscope and by using the mathematical waveform specified in 6.2 (see [19]). A 3 % error bound on the reading of the rise time  $T_R$  (0,026 ns) and an estimate of 0 ns are assumed. A rectangular probability density function is assigned to this input quantity.

### F.6.3 First peak of the ESD current discharge

The measurand is the first peak of the ESD current discharge obtained by using the functional relationship

$$I_{p1} = \frac{V_{p1}}{Z_{sys}} \cdot \frac{1 + \delta V + \delta V_M}{1 - \left(\frac{\beta}{B}\right)^2}$$

where

$V_{p1}$  is the voltage peak reading;

$Z_{sys}$  is the low-frequency transfer impedance of the measuring system;

$\delta V$  is the correction for DC vertical inaccuracy of the oscilloscope;

$\delta V_M$  is the correction for oscilloscope input mismatch;

$B$  is the –3 dB bandwidth of the current measuring system;

$\beta$  is the coefficient whose value is  $(81 \pm 9)$  MHz.

**Table F.2 – Example uncertainty budget for the first peak of the ESD current discharge ( $I_{p1}$ )**

| Input quantity                   | Estimate                      | Error bound  | Unit        | PDF**         |
|----------------------------------|-------------------------------|--------------|-------------|---------------|
| $V_{p1}$                         | 5,62                          | 0,05         | V           | Student's $t$ |
| $Z_{sys}$                        | 0,19                          | 0,01         | $\Omega$    | Rectangular   |
| $\delta V$                       | 0                             | 0,02         | 1           | Rectangular   |
| $\delta V_M$                     | 0                             | 0,03         | 1           | Rectangular   |
| $B$                              | 3 000                         | 50           | MHz         | Rectangular   |
| $\beta$                          | 81                            | 9            | MHz         | Rectangular   |
|                                  | <b>Output quantity and MU</b> | <b>Value</b> | <b>Unit</b> |               |
|                                  | $[y^-, y^+]$                  | [27,5, 31,9] | A           |               |
|                                  | $u(y)$                        | 1,15         | A           |               |
|                                  | $U(y)$                        | 2,18         | A           |               |
|                                  | $k$                           | 1,9          | 1           |               |
|                                  | $y$                           | 29,6         | A           |               |
| **a Probability density function |                               |              |             |               |

$V_{p1}$ : is the first voltage peak reading as displayed by the oscilloscope. Its uncertainty quantifies the lack of repeatability due to the measuring instrumentation, the layout of the measurement setup and the ESD generator itself. It is experimentally determined, recording five independent observations of  $V_{p1}$ . The assigned probability density function is a Student's  $t$  probability density function with four degrees of freedom, shifted by the mean of the observations and scaled by  $s \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{5}}$  (see [20] and [21]), where  $s$  is the standard deviation of the observations. It is assumed that the mean value is 5,62 V and the scale is 0,05 V.

$Z_{sys}$ : is the low-frequency transfer impedance of the measuring system. An estimated value of 0,19  $\Omega$  and an error bound of 0,01  $\Omega$  (rectangular probability density function) are assumed.

$\delta V$ : quantifies the amplitude measurement inaccuracy of the oscilloscope at DC. A 2 % error bound of a rectangular probability density function and an estimate of zero are assumed. For additional and relevant contributors, see F.6.6.

$\delta V_M$ : quantifies the amplitude measurement inaccuracy due to the input mismatch of the oscilloscope. The maximum error can be estimated from the calibration of the input VSWR of the oscilloscope and by using the mathematical waveform specified in 6.2 (see [19]). A 3 % error bound of a rectangular probability density function and an estimate of 0 are assumed.

$\beta$ : is a coefficient which depends on the shape of both the impulse response of the measuring system and the standard impulse waveform in the neighborhood of the peak (see Clause F.8). The interval (81  $\pm$  9) MHz is representative of a wide class of systems, each having a different shape of the impulse response.

$B$ : The bandwidth  $B$  of the measuring system can be experimentally obtained (direct measurement of the bandwidth) or calculated from the bandwidth  $B_i$  of each element of the measurement system (essentially an oscilloscope and the current measurement system specified in Annex B) by using the following equation:

$$\frac{1}{B} = \sqrt{\left(\frac{1}{B_1}\right)^2 + \left(\frac{1}{B_2}\right)^2 + \dots}$$

An estimate of 3 000 MHz and a 50 MHz error bound of a rectangular probability density function are assumed for  $B$ .

#### F.6.4 Second peak of the ESD current discharge

The measurand is the second peak of the ESD current discharge, obtained by using the functional relationship

$$I_{p2} = \frac{V_{p2}}{Z_{sys}} \cdot (1 + \delta V + \delta V_M)$$

where:

$V_{p2}$  is the voltage peak reading;

$Z_{sys}$  is the low-frequency transfer impedance of the measuring system;

$\delta V$  is the correction for DC vertical inaccuracy of the oscilloscope;

$\delta V_M$  is the correction for oscilloscope input mismatch.

**Table F.3 – Example uncertainty budget for the second peak of the ESD current discharge ( $I_{p2}$ )**

| Input quantity                  | Estimate     | Error bound    | Unit        | PDF**         |
|---------------------------------|--------------|----------------|-------------|---------------|
| $V_{p2}$                        | 3,71         | 0,05           | V           | Student's $t$ |
| $Z_{sys}$                       | 0,19         | 0,01           | $\Omega$    | Rectangular   |
| $\delta V$                      | 0            | 0,02           | 1           | Rectangular   |
| $\delta V_M$                    | 0            | 0,03           | 1           | Rectangular   |
| <b>Output quantity and MU</b>   |              | <b>Value</b>   | <b>Unit</b> |               |
|                                 | $[y^-, y^+]$ | [18,05, 21,12] | A           |               |
|                                 | $u(y)$       | 0,81           | A           |               |
|                                 | $U(y)$       | 1,54           | A           |               |
|                                 | $k$          | 1,9            | 1           |               |
|                                 | $y$          | 19,5           | A           |               |
| *a Probability density function |              |                |             |               |

$V_{p2}$ : is the second voltage peak reading as displayed by the oscilloscope. Its uncertainty quantifies the lack of repeatability due to the measuring instrumentation, the layout of the measurement setup and the ESD generator itself. It is experimentally determined recording five independent observations of  $V_{p2}$ . The assigned probability density function is a Student's  $t$  probability density function with four degrees of freedom, shifted by the mean of the observations and scaled by  $s \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{5}}$  (see [20] and [21]), where  $s$  is the standard deviation of the observations. It is here assumed that the mean value is 3,71 V and the scale is 0,05 V.

$Z_{sys}$ : is the low-frequency transfer impedance of the measuring system. An estimated value of 0,19  $\Omega$  and an error bound of 0,01  $\Omega$  (rectangular probability density function) are assumed.

$\delta V$ : quantifies the amplitude measurement inaccuracy of the oscilloscope at DC. A 2 % error bound of a rectangular probability density function and an estimate of zero are assumed. For additional and relevant contributors see Clause F.6.6.

$\delta V_M$ : quantifies the amplitude measurement inaccuracy due to the input mismatch of the oscilloscope. The maximum error can be estimated from the calibration of the input VSWR of the oscilloscope and by using the mathematical waveform specified in 6.2 (see [19]). A 3 % error bound of a rectangular probability density function and an estimate of zero are assumed.

#### F.6.5 ESD current discharge at 30 ns or 60 ns

The measurand is the ESD current discharge at 30 ns obtained by using the functional relationship

$$I_{30} = \frac{V_{30}}{Z_{sys}} (1 + \delta V + \delta V_M)$$

where:

$V_{30}$  is the impulse voltage reading at 30 ns;

$Z_{sys}$  is the low frequency transfer impedance of the measuring system;

$\delta V$  is the correction for DC vertical inaccuracy of the oscilloscope;

$\delta V_M$  is the correction for oscilloscope input mismatch.

**Table F.4 – Example of uncertainty budget for the ESD current discharge at 30 ns ( $I_{30}$ )**

| Input quantity                            | Estimate     | Error bound  | Unit        | PDF <sup>a</sup> |
|-------------------------------------------|--------------|--------------|-------------|------------------|
| $V_{30}$                                  | 3,25         | 0,16         | V           | Student's $t$    |
| $Z_{sys}$                                 | 0,19         | 0,01         | $\Omega$    | Rectangular      |
| $\delta V$                                | 0            | 0,02         | 1           | Rectangular      |
| $\delta V_M$                              | 0            | 0,03         | 1           | Rectangular      |
| <b>Output quantity and MU</b>             |              | <b>Value</b> | <b>Unit</b> |                  |
|                                           | $[y^-, y^+]$ | [14,6, 19,8] | A           |                  |
|                                           | $u(y)$       | 1,4          | A           |                  |
|                                           | $U(y)$       | 2,6          | A           |                  |
|                                           | $k$          | 1,9          | 1           |                  |
|                                           | $y$          | 17,1         | A           |                  |
| <sup>a</sup> Probability density function |              |              |             |                  |

$V_{30}$ : is the voltage reading at 30 ns as displayed by the oscilloscope. Its uncertainty quantifies the lack of repeatability due to the measuring instrumentation, the layout of the measurement setup and the ESD generator itself. It is experimentally determined recording five independent observations of  $V_{30}$ . The assigned probability density function is a Student's  $t$  probability density function with four degrees of freedom, shifted by the mean of the observations and scaled by  $s \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{5}}$  (see [20] and [21]), where  $s$  is the standard deviation of the observations. It is here assumed that the mean value is 3,25 V and the scale is 0,16 V.

$Z_{\text{sys}}$ : is the low frequency transfer impedance of the measuring system. An estimated value of 0,19  $\Omega$  and an error bound of 0,01  $\Omega$  (rectangular probability density function) are assumed.

$\delta V$ : quantifies the amplitude measurement inaccuracy of the scope at DC. A 2 % error bound of a rectangular probability density function and an estimate of zero are assumed.

$\delta V_M$ : quantifies the amplitude measurement inaccuracy due to the input mismatch of the scope. The maximum error can be estimated from the calibration of the input VSWR of the scope, see [19]. A 3 % error bound of a rectangular probability density function and an estimate of zero are assumed.

The measurand is the ESD current discharge at 60 ns obtained by using the functional relationship

$$I_{60} = \frac{V_{60}}{Z_{\text{sys}}} (1 + \delta V + \delta V_M)$$

where

$V_{60}$  is the voltage reading at 60 ns;

$Z_{\text{sys}}$  is the low-frequency transfer impedance of the measuring system;

$\delta V$  is the correction for DC vertical inaccuracy of the oscilloscope;

$\delta V_M$  is the correction for oscilloscope input mismatch.

**Table F.5 – Example uncertainty budget for the ESD current discharge at 60 ns ( $I_{60}$ )**

| Input quantity                            | Estimate     | Error bound  | Unit        | PDF <sup>a</sup> |
|-------------------------------------------|--------------|--------------|-------------|------------------|
| $V_{60}$                                  | 1,65         | 0,16         | V           | Student's $t$    |
| $Z_{\text{sys}}$                          | 0,19         | 0,01         | $\Omega$    | Rectangular      |
| $\delta V$                                | 0            | 0,02         | 1           | Rectangular      |
| $\delta V_M$                              | 0            | 0,03         | 1           | Rectangular      |
| <b>Output quantity and MU</b>             |              | <b>Value</b> | <b>Unit</b> |                  |
|                                           | $[y^-, y^+]$ | [6,3, 11,1]  | A           |                  |
|                                           | $u(y)$       | 1,2          | A           |                  |
|                                           | $U(y)$       | 2,4          | A           |                  |
|                                           | $k$          | 2,0          | 1           |                  |
|                                           | $y$          | 8,7          | A           |                  |
| <sup>a</sup> Probability density function |              |              |             |                  |

$V_{60}$ : is the voltage reading at 60 ns as displayed by the oscilloscope. Its uncertainty quantifies the lack of repeatability due to the measuring instrumentation, the layout of the measurement setup and the ESD generator itself. It is experimentally determined recording five independent observations of  $V_{P1}$ . The assigned probability density function is a Student's  $t$  probability density function with four degrees of freedom, shifted by the mean of the observations and scaled by  $s \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{5}}$  (see [20] and [21]), where  $s$  is the standard deviation of the observations. It is assumed that the mean value is 1,65 V and the scale is 0,16 V.

$Z_{\text{sys}}$ : is the low-frequency transfer impedance of the measuring system. An estimated value of 0,19  $\Omega$  and an error bound of 0,01  $\Omega$  (rectangular probability density function) are assumed.

$\delta V$ : quantifies the amplitude measurement inaccuracy of the oscilloscope at DC. A 2 % error bound of a rectangular probability density function and an estimate of zero are assumed. For additional and relevant contributors see F.6.6.

$\delta V_M$ : quantifies the amplitude measurement inaccuracy due to the input mismatch of the oscilloscope. The maximum error can be estimated from the calibration of the input VSWR of the oscilloscope (see [19]). A 3 % error bound of a rectangular probability density function and an estimate of zero are assumed.

#### F.6.6 Further MU contributions to time measurements

Time base error and jitter: the oscilloscope specifications can be taken as error bounds of rectangular probability density functions. Usually, these contributions are negligible.

Vertical resolution: the contribution depends on the vertical amplitude resolution  $\Delta A$  and on the slope of the trace  $dA/dt$ . The uncertainty is related to the half width of the resolution and is  $(\Delta A/2)/(dA/dt)$ . If trace interpolation is performed (see the oscilloscope manual) a triangular probability density function is used; otherwise, a rectangular probability density function is used. This contribution is often negligible.

### F.7 Rise time of the step response and bandwidth of the frequency response of the measuring system

Let  $T_{\text{MS}}$  be the rise time of the step response of the measuring system, as defined by

$$T_{\text{MS}} = \sqrt{2\pi \int_0^{\infty} (t - T_s)^2 h_0(t) dt} \quad (\text{F.1})$$

where  $h_0(t)$  is the impulse response of the measuring system having normalized area, i.e.

$\int_0^{\infty} h_0(t) dt = 1$ , and  $T_s$  is the delay time given by

$$T_s = \int t h_0(t) dt \quad (\text{F.2})$$

Formula (F.1) is much easier to handle, from the mathematical point of view, than the usual one based on the 10 % and 90 % threshold levels. Nonetheless, in technical applications, the 10 % to 90 % rise time definition is usually adopted. Given the –3 dB bandwidth of the system, the two equations lead to comparable rise times. Indeed, if one defines

$$\alpha = T_{\text{MS}} B \quad (\text{F.3})$$

one finds that the  $\alpha$  values derived from the two formulae of rise time do not differ very much. The values of  $\alpha$  corresponding to different shapes of the impulse response  $h(t)$  are shown in Table F.6. It is evident from Table F.6 that it is not possible to identify a unique value of  $\alpha$  since  $\alpha$  depends both on the adopted definition of the rise time (e.g. based on thresholds or on Formula (F.1)) and on the shape of the impulse response of the measuring system. A reasonable estimate of  $\alpha$  can be obtained as the arithmetic mean between the minimum ( $321 \cdot 10^{-3}$ ) and maximum ( $399 \cdot 10^{-3}$ ) values that appear in Table F.6, that is  $360 \cdot 10^{-3}$ . Further, it can be assumed that, if no information is available about the measuring system apart from its bandwidth, any value of  $\alpha$  between  $321 \cdot 10^{-3}$  and  $399 \cdot 10^{-3}$  is equally probable. Differently stated,  $\alpha$  is assumed to be a random variable having a rectangular probability density function with lower and upper bounds  $321 \cdot 10^{-3}$  and  $399 \cdot 10^{-3}$ , respectively. The standard uncertainty of  $\alpha$  quantifies both:

- a) the indifference to the mathematical model adopted for the definition of the rise-time, and
- b) the indifference to the shape of the impulse response of the system.

**Table F.6 –  $\alpha$  factor – Formula (F.3) – of different unidirectional impulse responses corresponding to the same bandwidth of the system  $B$**

| Values of $\alpha$ are multiplied by 103 | Gaussian | I order | II order<br>(crit. damp.) | Rectangular | Triangular |
|------------------------------------------|----------|---------|---------------------------|-------------|------------|
| $\alpha$ – using Formula (F.1)           | 332      | 399     | 363                       | 321         | 326        |
| $\alpha$ – 10 to 90 %                    | 339      | 350     | 344                       | 354         | 353        |

## F.8 Impulse peak distortion due to the limited bandwidth of the measuring system

The distorted impulse waveform  $v_{\text{out}}(t)$  at the output of the measuring system is specified by the convolution integral

$$v_{\text{out}}(t) = \int_0^t v_{\text{in}}(\tau) h(t - \tau) d\tau \quad (\text{F.4})$$

where  $v_{\text{in}}(t)$  is the input impulse waveform and  $h(t)$  is the impulse response of the measuring system. Note that  $A \cdot h(t) = h_0(t)$ , where  $A$  is the DC attenuation of the measuring system. The input waveform can be approximated by its Taylor series expansion about the time instant  $t_p$  when the input reaches its peak value  $V_p$ .

$$v_{in}(t) = V_p + \frac{v_{in}''(t_p)}{2}(t - t_p)^2 + \frac{v_{in}'''(t_p)}{6}(t - t_p)^3 + \dots \quad (F.5)$$

Note that the first order term is missing from Formula (F.5) since  $v'(t_p) = 0$ . Further  $v_{in}''(t_p) < 0$  because the concavity points downwards (maximum), and  $v_{in}'''(t_p) > 0$  because, for the standard waveforms of interest here, the rise time is lower than the fall time. Substituting Formula (F.5) into Formula (F.4) and after simplifications, valid when the bandwidth of the measuring system is large with respect to the bandwidth of the input signal (so that the power series terms whose order is greater than two are negligible), one obtains:

$$V_{pd} = \frac{V_p}{A} \left[ 1 - \left( \frac{\beta}{B} \right)^2 \right] \quad (F.6)$$

where  $V_{pd}$  is the output impulse peak,  $A$  is the DC attenuation of the measuring system and

$$\beta = \alpha \sqrt{\frac{v_{in}''(t_p)}{4\pi V_p}} \quad (F.7)$$

Note that the parameter  $\beta$  depends on the second derivative of the standard input waveform and on the parameter  $\alpha$  defined and derived in Clause F.7. The mathematical expression for the standard ring waveform is specified in 6.2 and the value is numerically calculated as  $\beta = (81 \pm 9)$  MHz. For a detailed analysis, see [22].

## F.9 Application of uncertainties in the ESD compliance criterion

In order to provide evidence that the generated ESD current discharge is compliant with the requirements of this document, the calibration results can be compared with the tolerances specified by this document. Tolerances cannot be reduced by MU.

Further guidance is provided in IEC/TR 61000-1-6:2012 [7], Clause 6.

## **Annex G** (informative)

### **Test setup for post-installation tests**

These post-installation tests, which are performed in situ, can be applied when agreed between manufacturer and customer. It should be considered that other co-located equipment can be unacceptably affected.

NOTE 1 Post-installation tests are generally applicable only to very large EUTs (e.g. fixed installations, large machinery), which cannot be transported to the laboratory.

NOTE 2 In addition, the EUT itself can suffer significant ageing from in situ ESD testing. The mean time to failure (MTTF) of many modern electronic circuits decreases significantly if these circuits have been subjected to electrostatic discharge. The malfunction might not occur immediately during the ESD test, but the device will often fail much sooner than a device which never had to undergo ESD testing. Taking this into consideration, it can be decided to perform no in situ ESD testing at all.

If it is decided to perform post-installation ESD tests, the EUT is tested in its final installation conditions.

An RGP is placed on the floor of the installation to facilitate a connection for the discharge return cable. The distance between the RGP placed on the floor of the installation and the EUT should be 0,1 m. This plane's material should be copper or aluminium with a minimum thickness of 0,25 mm. If other metallic materials are used, the minimum thickness shall be 0,65 mm. Where there is sufficient space, the plane size should be 0,3 m wide and 2 m in length.

This RGP should be connected to the protective earthing system.

The discharge return cable of the ESD generator should also be connected to the reference plane. Where parts of the EUT are installed on a metal support structure, this structure should be connected to the RGP.

Any ungrounded metallic parts should be tested using the bleeder resistor cable specified in 7.3.5.

An example of the setup for post-installation tests is shown in Figure G.1.

Dimensions in metres

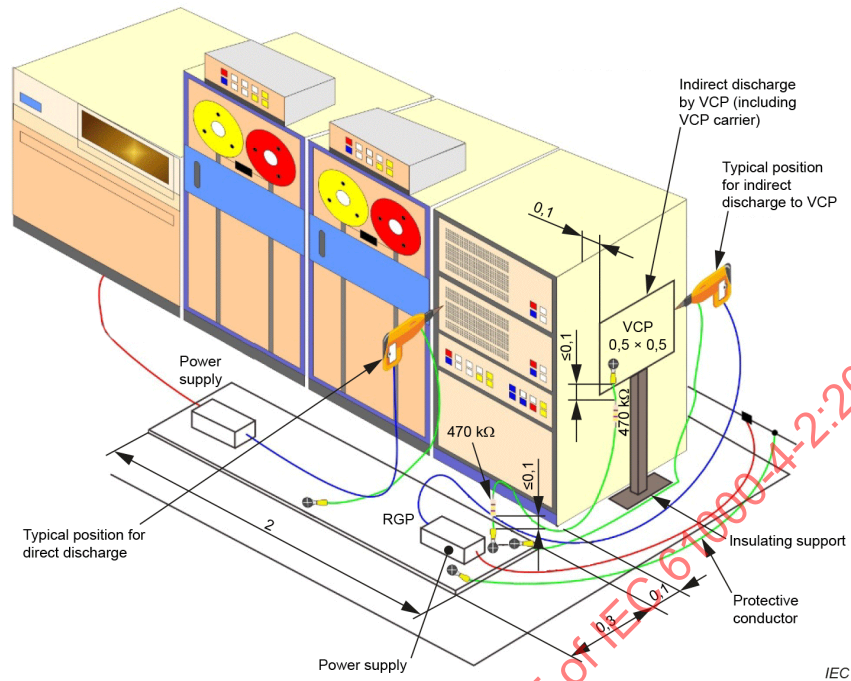


**Figure G.1 – Example of test setup for floor-standing equipment, post-installation tests**

## **Annex H** (normative)

### **Escalation strategy**

#### **H.1 Variations in EUT performance**

As a result of the complex nature of ESD and the inherent tolerances on test equipment, some variation in the performance of an EUT during application of discharges can occur. Often, these variations are due to differences in the test levels at which errors occur or the types of errors that the EUT exhibits during the test. Depending on the test level at which they occur, such variations in performance can affect the decision whether the EUT passed or failed the test.

In the case of differences in EUT performance, the following steps shall be taken to determine the source of the differences.

- Verify the test setup; examine all the details, including the position of each cable and the condition of the EUT (e.g., covers, doors).
- Verify the test procedure, including the EUT operation mode, position and location of auxiliary equipment, operator position, software state, application of discharges to the EUT.
- Verify if the test result differs caused by the use of different generators.

For safety related functions, the product committee can decide not to apply the escalation strategy.

A more stringent escalation strategy may be applied.

#### **H.2 Escalation strategy**

If differences in EUT performance occur when all conditions of the test, including the ESD generator, are the same, then the following escalation strategy shall be applied to determine, if the EUT meets the requirements. This strategy shall be applied to each test point, where there was variation in EUT performance beyond the specified requirements during the application of the set of discharges.

- a) The first test has been applied according to 8.3.2 with the specified test level. If there is variation in EUT performance beyond the specified requirements on more than one occasion during the test, then the test result is beyond the threshold for acceptable performance set by the product committee. If there is variation in EUT performance beyond the specified requirements only once during the initial set of discharges, a further test according to the following step b) is performed.
- b) The second test shall be applied at that test point with double the number of discharges of the specified test level. If there is variation in EUT performance beyond the specified requirements on more than one occasion during the test, then the test result is beyond the threshold for acceptable performance set by the product committee. If there is variation in EUT performance beyond the specified requirements only once during the initial set of discharges, a further test according to the following step c) shall be performed.
- c) The third test shall be applied with the same number of discharges as in step b) at that test point with the specified test level. If there is no variation in EUT performance beyond the specified requirements, then the test result is within the threshold for acceptable performance set by the product committee. If there is variation in EUT performance beyond the specified requirements, then the test result is beyond the threshold for acceptable performance set by the product committee.

## Annex I (normative)

### Additional or further test setup for particular kind of equipment

#### I.1 Wall-mounted equipment

The test setup shall consist of a non-conductive support,  $(0,8 \pm 0,08)$  m high, standing on the RGP. The EUT cables shall be isolated from the RGP by an insulating support of  $(0,5 \pm 0,05)$  mm. Other aspects of the setup shall be as specified in 7.3.2 and 7.3.5 as applicable. For all accessible enclosure parts, the VCP shall be located as specified in 8.3.3.3.

For small wall-mounted EUTs; i.e.  $< (0,5 \times 0,5)$  m, the centre of the VCP shall be positioned in the centre of each side of the EUT.

Wall-mounted equipment intended to be installed on or recessed in walls which do not contain conductive structures shall be set up as in the example shown in Figure I.1.

NOTE A similar insulating support without the metal plate as outlined in Figure I.2 can be used.

If the EUT is intended to be mounted on a conductive surface, the test setup shown in Figure I.2 shall be used. The size of the metal in Figure I.2 shall project beyond the EUT by at least 0,5 m on all sides.

The dimensions in 7.3 shall apply for both figures.

Dimensions in metres

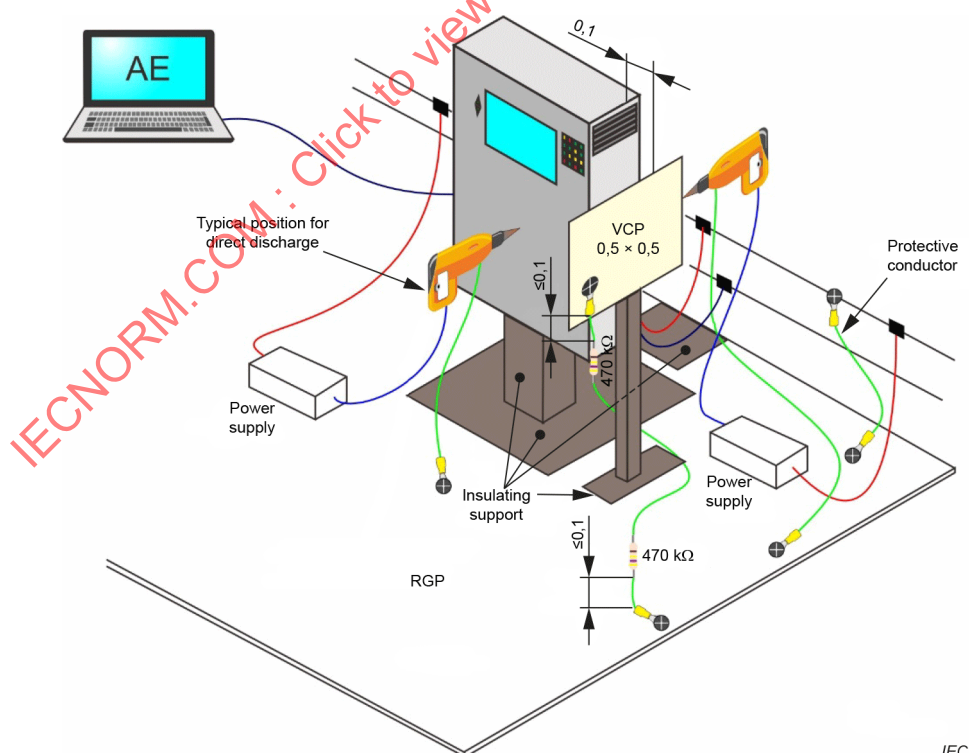


Figure I.1 – Example of test setup for wall-mounted equipment on non-conductive surfaces

Dimensions in metres

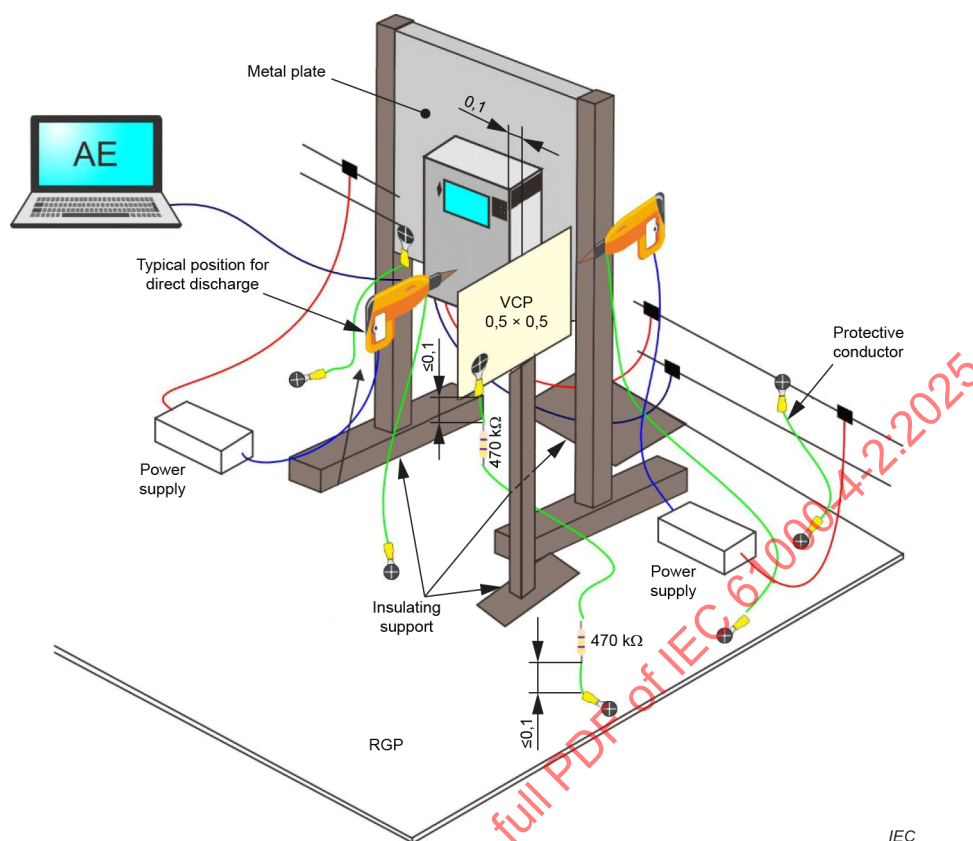


**Figure I.2 – Example of test setup for wall-mounted equipment on conductive surfaces**

## 1.2 Wearable devices

In general, wearable devices are removable and include, but not limited to, body-mounted, body-supported, limb-mounted and clothing-integrated equipment. Such devices shall be tested as table-top equipment (see Figure 8 in 7.3.5) using the generator in 6.2.

NOTE Further information is provided in Annex J (wearable devices).

## **Annex J** (informative)

### **Wearable devices**

#### **J.1 General**

The ESD stress on wearable devices differs from that on stationary equipment as wearable devices are charged by the human body. For example, wearable devices are put on the head, arm, wrist and waist of a human body.

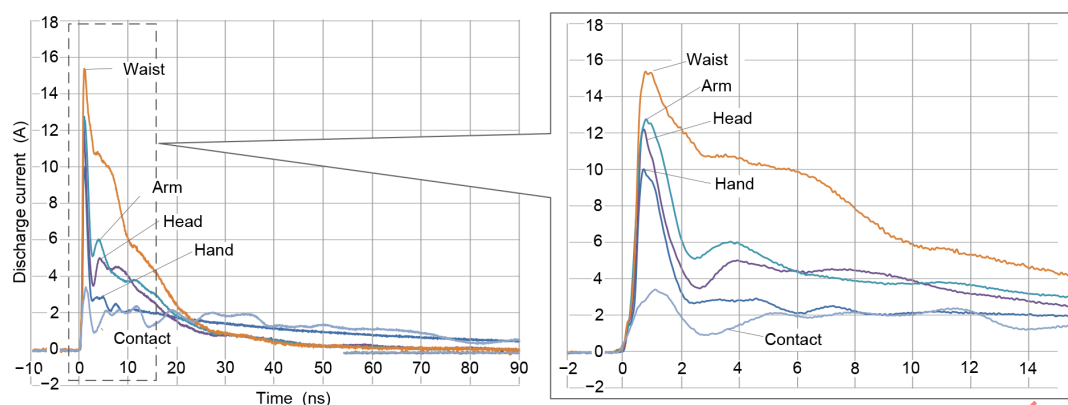
The ESD stress on wearable devices can be caused by the following five scenarios:

- picking up a wearable device by a charged human hand;
- taking off a charged wearable device by a human hand of a person not wearing the device;
- ESD originated from the human hand wearing a wearable device;
- removing a charged wearable device with one's own hand and placing it on a desk;
- ESD to other objects originated directly from the wearable device.

The first and second scenarios are similar to a normal ESD phenomenon. The third scenario will cause a sharp drop of the electric field. The fourth scenario gives the most severe condition. In ESD events from a human finger to an EUT, the current is normally limited by the impedance of the arm and finger. In ESD events from body-worn devices to another object, this impedance largely depends on the position on the body where this device is attached. This impedance can be much smaller than for ESD events caused by a human's finger.

An example of air discharge currents from the skin at several locations on a human body charged to 1 kV and discharged via an air discharge tip is shown in Figure J.1 [23], [25]. The air discharge tip simulates a conductive wearable device. The "contact" line is the 1 kV contact discharge from an ESD generator according to this document. As shown in Figure J.1, ESD from the waist causes the largest current peak and a rise time of approximately 0,6 ns, which is a little faster than that specified for contact discharge (rise time: 0,8 ns). Also, the discharge currents through the hand-held metal tip and the contact discharge current from an ESD generator did not sufficiently decrease even at 90 ns, while the discharge currents through the body-mounted semi-sphere metal almost decreased to 0 at 50 ns regardless of the attachment position. This implies that the body-mounted air discharge tip has a low resistance compared to the hand-held tip and the contact discharge from the ESD generator. The ratio between hand discharge and waist discharge currents is a factor of five.

From these discharge current results and measured human body impedances [24], [25], the discharge current characteristics for different parts of the body are estimated as shown in Table J.1. The capacitance and resistance of each part leads to a more severe condition when close to the trunk of the human body.



The discharge waveform from the contact discharge ESD generator is also shown.

**Figure J.1 – Example of air discharge current waveforms for locations on a 1 kV charged human body, discharged via an air discharge tip**

**Table J.1 – Example of waveform parameters to characterize discharge currents of the ESD generator, hand-held and body-mounted electrodes with a 1 kV charged voltage**

| Parameter                  |          | Contact | Hand | Arm | Head | Waist |
|----------------------------|----------|---------|------|-----|------|-------|
| Waveform energy            | nJ       | 181     | 244  | 467 | 362  | 1 223 |
| Discharge resistance       | $\Omega$ | 320     | 236  | 113 | 134  | 67    |
| Charge storage capacitance | pF       | 116     | 115  | 106 | 97   | 163   |
| Discharge time constant    | ns       | 37      | 27   | 12  | 13   | 11    |

## J.2 Additional experimental test procedures for a wearable device

In general, a wearable device should be tested according to the requirements for table top equipment. For additional experimental ESD testing on wearable devices, the recommended energy storage capacitor and discharge resistor are 200 pF and 50  $\Omega$ , respectively, to reproduce the most severe discharge current condition from a wearable device on the waist.

Fundamentally, the phenomenon of ESD experienced by wearable devices attached to a charged human body are similar to a charged device model attached to the human body. The wearable device is charged with a test voltage applied from a 200 pF storage capacitor and a 50  $\Omega$  discharge resistor in series, which is connected to the RGP using a high-voltage relay.

NOTE The intent of the 200 pF/50  $\Omega$  generator is to highlight that the ESD event is more severe than the event covered by this document.

This test method is difficult because special test equipment is necessary. Therefore, the following test method is recommended:

- place the wearable device on the HCP according to 7.3.3 or 7.3.5;
- use a battery to supply the wearable device. If an external power supply is required, all units should be placed on the HCP;
- apply ESD to the conductive parts of the wearable device in contact discharge mode using an ESD generator with a 200 pF storage capacitor and a 50  $\Omega$  discharge resistor;
- perform the electric charge elimination procedure according to 7.3.5 for the wearable device.

## **Annex K** (informative)

### **Evaluation of test results**

The test results are classified (performance criterion) in terms of the degradation or reduction of the functional performance of the EUT, relative to a permissible degradation specified by product committees. Otherwise, the permissible degradation is specified by the manufacturer or purchaser of the product. The classification performance criterion A is generally recognized as "normal" operation, i.e. the product operates within the specifications and tolerances according to the product documentation. ESD can generally cause performance degradation or can affect normal operation of the EUT. Therefore, product committees can select the classification performance criterion B when evaluating the test results.

The classification performance criterion B is generally recognized by allowing a permissible degradation of operation – i.e. outside the specifications – during the application of the ESD under the condition, that the equipment can self-recover to its normal operation after the test. Product committees are encouraged to specify a threshold for the permissible degradation taking into consideration what the user might reasonably expect from the equipment when used as intended. When the EUT becomes for example unusable or in case of a total loss of function during the ESD tests can generally be unacceptable.

Some examples are as follows:

- Display: Displays are usually enclosed using non-conductive materials and are therefore subject to air discharge testing. ESD air discharge testing can cause significant reduction in brightness or jitter. The threshold can be specified by allowing the display a reduction in brightness to a certain extent and jitter to fluctuate under the condition that valuable displayed information can be visually identified. A "dark screen" can be beyond the permissible threshold.
- Digital circuits: ESD testing can cause interruption to synchronized circuits. A threshold can be specified as an error rate of the affected data transmission under the condition, that "normal" data transmission is resumed after the ESD event.

The classification performance criterion C is generally recognized by allowing an interruption of operation without damaging the equipment with operator intervention allowed if needed in order to resume functioning. This performance criterion is generally not applicable to evaluation of ESD test results.

## Bibliography

- [1] IEC 60050-161:1990, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 161: Electromagnetic compatibility*
- [2] IEC 60050-311:2001, *International electrotechnical vocabulary – Part 311: Electrical and electronic measurements – General terms relating to measurements*
- [3] IEC 60050-442:1998, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 442: Electrical accessories*
- [4] IEC 61000-6-1, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-1: Generic standards – Immunity for residential, commercial and light-industrial environments*
- [5] IEC 62368-1, *Audio/video, information and communication technology equipment – Part 1: Safety requirements*
- [6] IEC Guide 107, *Electromagnetic compatibility – Guide to the drafting of electromagnetic compatibility publications*
- [7] IEC/TR 61000-1-6:2012, *"Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 1-6: General – Guide to the assessment of measurement uncertainty"*
- [8] ISO/IEC Guide 98-3:2008/Suppl 1:2008, *"Evaluation of measurement data — Supplement 1 to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement" — Propagation of distributions using a Monte Carlo method"*
- [9] White Paper 3, *System Level ESD Part III: Review of IEC 61000-4-2 ESD Testing and Impact on System-Efficient ESD Design (SEED)*, Chapter 8, Industry Council on ESD Target Levels, Revision 1.1, May 2021, <http://www.esdindustrycouncil.org/>
- [10] T. Viheriäkoski, M Kokkonen, P. Tamminen, E. Kärjä, J. Hillberg, J. Smallwood, *Electrostatic Threats in Hospital Environment*, ESD Association, EOS/ESD symposium 2014
- [11] Moradian M, Patnaik A, Han Y, Wan F, Gao X, Pommerenke D, Swenson DE. *Determination of the effect of humidity on the probability of ESD failure or upset in data centers*. ASHRAE Transactions. 2014 Jan 1;120(2):25-41
- [12] Wan F, Swenson D, Hillstrom M, Pommerenke D, Stayer C. *The Effect of Humidity on Static Electricity Induced Reliability Issues of ICT Equipment in Data Centers--Motivation and Setup of the Study*. ASHRAE Transactions. 2013 May 1;119(2)
- [13] Talebzadeh A, Patnaik A, Swenson DE. *Dependence of ESD charge voltage on humidity in data centers: Part I-Test methods*. ASHRAE Transactions. 2015;121:58
- [14] Talebzadeh A, Patnaik A, Gao X, Swenson DE. *Dependence of ESD charge voltage on humidity in data centers: Part II-Data analysis*. ASHRAE Transactions. 2015;121:37
- [15] Gao X, Talebzadeh A, Swenson DE. *Dependence of ESD charge voltage on humidity in data centers: Part III-Estimation of ESD-related risk in data centers using voltage level extrapolation and Chebyshev's inequality*. ASHRAE Transactions. 2015;121:49. Page 31 of 44 MB/NC Line number (e.g. 17) Clause/ Subclause (e.g. 3.1) Paragraph/ Figure/ Table/ (e.g. Table 1) Type of comment Comments Proposed change Observations of the secretariat

- [16] Talebzadeh A, Moradian M, Han Y, Swenson DE, Pommerenke D. *Effect of human activities and environmental conditions on electrostatic charging*. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. 2016 Jun 24;58(4):1266-73
- [17] Zhou J, Wei P, Shen L, Yan X, Maghlakelidze G, Notermans G, Bub S, Holland S, Pommerenke D. *Investigations Into Unintended ESD Generator Artifacts: Prepulse and Postpulse*. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. 2021 Jul 2;63(6):1791-8
- [18] S. Caniggia, F. Maradei, *Numerical Prediction and Measurement of ESD Radiated Fields by Free-Space Field Sensors*, IEEE Trans. on EMC, Vol.49, August 2007
- [19] Carlo F. M. Carobbi, "An Investigation on Oscilloscope Input Mismatch," 2017 IEEE International Symposium on EMC, Washington (DC), Aug. 7-11, 2017
- [20] Carlo F. M. Carobbi and Francesca Pennecchi, "Bayesian conformity assessment in presence of systematic measurement errors," Metrologia, 53 (2016), 74 –80
- [21] Carlo F. M. Carobbi, "The Statistical Field Uniformity Criterion in Transverse Electromagnetic Waveguides," IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol. 59, no. 6, pp. 2052 – 2053, Dec. 2017
- [22] Carlo F. M. Carobbi, "Measurement Error of the Standard Unidirectional Impulse Waveforms Due to the Limited Bandwidth of the Measuring System," IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol. 55, no. 4, pp. 692-698, Aug. 2013
- [23] T. Ishida, S. Nitta, F. Xiao, Y. Kami and O. Fujiwara: "An Experimental Study of electrostatic Discharge Immunity Testing for Wearable Devices", Proceedings of Joint IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility and EMC Europe, Dresden 2015, TC-2, pp. 839-842, 2015
- [24] T. Ishida, S. Nitta, F. Xiao, Y. Kami and O. Fujiwara: "Characteristics of Discharge Currents Measured through Body-Attached Metal for Modelling ESD from Wearable Electronic Devices", IEICE TRANS. COMMUN., Vol.E99-B, No.1, pp.186-191, Jan 2016
- [25] J. Zhou, K. Ghosh, S. Xiang, X. Yan, A. Hosseinbeig, J. Lee, D. Pommerenke. "Characterization of ESD Risk for Wearable Devices", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. 60, Issue 5, pp.1313-1321, 2018

IEC NORMATIVE DOCUMENT – Not to be viewed in full PDF of IEC 61000-4-2:2025

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61000-4-2:2025

## SOMMAIRE

|                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| AVANT-PROPOS.....                                                                                 | 87  |
| INTRODUCTION.....                                                                                 | 89  |
| 1 Domaine d'application.....                                                                      | 90  |
| 2 Références normatives .....                                                                     | 90  |
| 3 Termes, définitions et abréviations .....                                                       | 91  |
| 3.1 Termes et définitions .....                                                                   | 91  |
| 3.2 Abréviations .....                                                                            | 93  |
| 4 Généralités.....                                                                                | 94  |
| 5 Niveaux d'essai .....                                                                           | 94  |
| 6 Matériel d'essai .....                                                                          | 95  |
| 6.1 Vue d'ensemble .....                                                                          | 95  |
| 6.2 Générateur de DES .....                                                                       | 95  |
| 6.2.1 Généralités .....                                                                           | 95  |
| 6.2.2 Caractéristiques générales.....                                                             | 97  |
| 6.3 Étalonnage des caractéristiques du générateur de DES .....                                    | 99  |
| 6.3.1 Généralités .....                                                                           | 99  |
| 6.3.2 Matériel exigé pour l'étalonnage du générateur de DES .....                                 | 99  |
| 6.3.3 Configuration pour l'étalonnage de la forme d'onde de courant du<br>générateur de DES ..... | 100 |
| 6.3.4 Procédure d'étalonnage du générateur de DES.....                                            | 101 |
| 7 Montage d'essai .....                                                                           | 101 |
| 7.1 Généralités .....                                                                             | 101 |
| 7.2 Matériel d'essai .....                                                                        | 102 |
| 7.2.1 Généralités .....                                                                           | 102 |
| 7.2.2 Vérification du matériel d'essai de DES .....                                               | 102 |
| 7.3 Montage d'essai utilisé pour les essais réalisés en laboratoire .....                         | 102 |
| 7.3.1 Généralités .....                                                                           | 102 |
| 7.3.2 Conditions d'essai .....                                                                    | 102 |
| 7.3.3 Matériels de table .....                                                                    | 103 |
| 7.3.4 Matériels posés sur le sol.....                                                             | 104 |
| 7.3.5 Exigences particulières pour les matériels non raccordés à la terre .....                   | 105 |
| 8 Procédure d'essai .....                                                                         | 108 |
| 8.1 Généralités .....                                                                             | 108 |
| 8.2 Conditions de référence du laboratoire .....                                                  | 108 |
| 8.2.1 Conditions climatiques .....                                                                | 108 |
| 8.2.2 Conditions électromagnétiques.....                                                          | 109 |
| 8.3 Exécution de l'essai .....                                                                    | 109 |
| 8.3.1 Fonctionnement de l'EUT .....                                                               | 109 |
| 8.3.2 Application directe des décharges sur l'EUT .....                                           | 110 |
| 8.3.3 Application indirecte des décharges .....                                                   | 111 |
| 9 Rapport d'essai .....                                                                           | 112 |
| Annexe A (informative) Notes explicatives.....                                                    | 113 |
| A.1 Considérations générales .....                                                                | 113 |
| A.2 Influences des conditions d'environnement sur les niveaux de charge .....                     | 113 |
| A.3 Phénomène de DES du corps humain chargé .....                                                 | 115 |
| A.4 Phénomène de décharge dans l'air .....                                                        | 115 |

|                        |                                                                                                                   |     |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| A.5                    | Variations de la décharge dans l'air .....                                                                        | 116 |
| A.6                    | Température et humidité de la décharge dans l'air .....                                                           | 116 |
| A.7                    | Pertinence de l'essai de décharge au contact .....                                                                | 116 |
| A.8                    | Choix des niveaux d'essais.....                                                                                   | 117 |
| A.9                    | Choix des éléments pour le générateur de DES .....                                                                | 118 |
| A.10                   | Justification liée à la spécification du générateur .....                                                         | 118 |
| A.11                   | Justification liée à la spécification de la forme d'onde .....                                                    | 118 |
| Annexe B (normative)   | Étalonnage du système de mesure du courant.....                                                                   | 119 |
| B.1                    | Spécification de la cible de courant – impédance d'entrée.....                                                    | 119 |
| B.2                    | Spécification de la cible de courant – perte d'insertion .....                                                    | 119 |
| B.2.1                  | Chaîne de mesure.....                                                                                             | 119 |
| B.2.2                  | Ligne d'adaptation de la cible .....                                                                              | 120 |
| B.2.3                  | Détermination de la perte d'insertion d'une chaîne cible de courant-<br>affaiblisseur-câble.....                  | 120 |
| B.3                    | Détermination de l'impédance de transfert à basse fréquence d'une chaîne<br>cible-affaiblisseur-câble.....        | 121 |
| Annexe C (informative) | Exemple de cible d'étalonnage qui satisfait aux exigences de<br>l'Annex B.....                                    | 123 |
| Annexe D (informative) | Champs rayonnés par les décharges personne-métal et les<br>générateurs de DES .....                               | 128 |
| D.1                    | Vue d'ensemble des processus qui causent des champs désirés et non<br>désirés.....                                | 128 |
| D.1.1                  | Généralités .....                                                                                                 | 128 |
| D.1.2                  | DES d'un être humain .....                                                                                        | 128 |
| D.1.3                  | Générateur de DES.....                                                                                            | 129 |
| D.2                    | Réactions de l'EUT aux essais de DES .....                                                                        | 130 |
| D.3                    | Champs transitoires de l'événement de DES de référence.....                                                       | 131 |
| D.4                    | Tension induite dans une petite boucle .....                                                                      | 132 |
| D.5                    | Mesure de champs rayonnés dus à une DES à l'aide des sondes de champs<br>du marché et des générateurs de DES..... | 133 |
| D.6                    | Procédure simple pour estimer les champs rayonnés et les tensions induites<br>par les générateurs de DES.....     | 135 |
| Annexe E (informative) | Choix des points d'essai et du nombre d'impulsions.....                                                           | 137 |
| E.1                    | Généralités .....                                                                                                 | 137 |
| E.2                    | Exclusions .....                                                                                                  | 137 |
| E.3                    | Recommandations concernant les décharges au contact direct .....                                                  | 138 |
| E.4                    | Recommandations pour les décharges dans l'air.....                                                                | 138 |
| E.5                    | Recommandations pour les décharges indirectes.....                                                                | 139 |
| E.6                    | Essais exploratoires .....                                                                                        | 139 |
| E.7                    | Nombre d'impulsions pour les décharges au contact direct.....                                                     | 140 |
| Annexe F (informative) | Considérations concernant l'incertitude de mesure.....                                                            | 141 |
| F.1                    | Généralités .....                                                                                                 | 141 |
| F.2                    | Légende des paramètres de forme d'onde du courant de décharge au<br>contact et de décharge dans l'air .....       | 141 |
| F.3                    | Limitations .....                                                                                                 | 142 |
| F.4                    | Calcul d'un intervalle de couverture .....                                                                        | 142 |
| F.5                    | Contributeurs d'incertitude de l'incertitude de mesure de la décharge de<br>courant de DES.....                   | 143 |

|                        |                                                                                                                                                                                                                                         |     |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| F.6                    | Incertitude de la mesure de la décharge de courant du générateur de DES .....                                                                                                                                                           | 143 |
| F.6.1                  | Généralités .....                                                                                                                                                                                                                       | 143 |
| F.6.2                  | Temps de montée de la décharge de courant de DES .....                                                                                                                                                                                  | 143 |
| F.6.3                  | Première crête de décharge de courant de DES.....                                                                                                                                                                                       | 145 |
| F.6.4                  | Seconde crête de décharge de courant de DES .....                                                                                                                                                                                       | 147 |
| F.6.5                  | Décharge de courant de DES à 30 ns ou 60 ns .....                                                                                                                                                                                       | 148 |
| F.6.6                  | Autres contributions de l'incertitude de mesure aux mesurages de temps .....                                                                                                                                                            | 150 |
| F.7                    | Temps de montée de la réponse à un échelon et largeur de bande de la réponse en fréquence du système de mesure .....                                                                                                                    | 150 |
| F.8                    | Distorsion de la crête de choc due à la largeur de bande limitée du système de mesure.....                                                                                                                                              | 151 |
| F.9                    | Application des incertitudes dans le critère de conformité du générateur de DES.....                                                                                                                                                    | 152 |
| Annexe G (informative) | Montage d'essai pour les essais après installation.....                                                                                                                                                                                 | 153 |
| Annexe H (normative)   | Stratégie d'intensification .....                                                                                                                                                                                                       | 155 |
| H.1                    | Variations des performances de l'EUT .....                                                                                                                                                                                              | 155 |
| H.2                    | Stratégie d'intensification .....                                                                                                                                                                                                       | 155 |
| Annexe I (normative)   | Montage d'essai supplémentaire ou complémentaire pour un type de matériel particulier.....                                                                                                                                              | 156 |
| I.1                    | Matériel monté au mur.....                                                                                                                                                                                                              | 156 |
| I.2                    | Dispositifs portables .....                                                                                                                                                                                                             | 157 |
| Annexe J (informative) | Dispositifs portables .....                                                                                                                                                                                                             | 158 |
| J.1                    | Généralités .....                                                                                                                                                                                                                       | 158 |
| J.2                    | Procédures d'essai expérimentales supplémentaires pour un dispositif portable .....                                                                                                                                                     | 159 |
| Annexe K (informative) | Évaluation des résultats d'essai.....                                                                                                                                                                                                   | 161 |
| Bibliographie          | .....                                                                                                                                                                                                                                   | 162 |
| Figure 1               | – Schéma simplifié du générateur de DES .....                                                                                                                                                                                           | 95  |
| Figure 2               | – Forme d'onde idéale de courant de décharge au contact à 4 kV .....                                                                                                                                                                    | 96  |
| Figure 3               | – Tête de décharge au contact du générateur de DES.....                                                                                                                                                                                 | 98  |
| Figure 4               | – Tête de décharge dans l'air du générateur de DES.....                                                                                                                                                                                 | 98  |
| Figure 5               | – Disposition pour l'étalonnage des performances du générateur de DES .....                                                                                                                                                             | 100 |
| Figure 6               | – Exemple de montage d'essai pour un matériel de table .....                                                                                                                                                                            | 104 |
| Figure 7               | – Exemple de montage d'essai pour un matériel posé sur le sol .....                                                                                                                                                                     | 105 |
| Figure 8               | – Exemple de montage d'essai pour un matériel de table non raccordé à la terre.....                                                                                                                                                     | 107 |
| Figure 9               | – Exemple de montage d'essai pour un matériel posé sur le sol non raccordé à la terre.....                                                                                                                                              | 108 |
| Figure A.1             | – Valeurs maximales types des tensions électrostatiques auxquelles les opérateurs et les matériaux peuvent être chargés lorsqu'ils fonctionnent dans différents environnements en dehors d'une zone de protection électrostatique ..... | 114 |
| Figure B.1             | – Exemple d'une ligne d'adaptation de la cible fixée à la cible de courant.....                                                                                                                                                         | 120 |
| Figure B.2             | – Exemple de face avant d'une cible de courant.....                                                                                                                                                                                     | 120 |
| Figure B.3             | – Exemple de mesurage de la perte d'insertion d'une chaîne cible de courant-affaiblisseur-câble .....                                                                                                                                   | 121 |
| Figure B.4             | – Exemple de schéma de circuit pour déterminer l'impédance de transfert de système à basse fréquence .....                                                                                                                              | 122 |

|                                                                                                                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure C.1 – Dessin mécanique d'une cible coaxiale qui représente la partie centrale en laiton .....                                                                                           | 123 |
| Figure C.2 – Dessin mécanique d'une cible coaxiale qui représente la CCI et les résistances .....                                                                                              | 124 |
| Figure C.3 – Dessin mécanique d'une cible coaxiale qui représente la partie en PTFE .....                                                                                                      | 125 |
| Figure C.4 – Dessin mécanique d'une cible coaxiale qui représente le couvercle.....                                                                                                            | 126 |
| Figure C.5 – Dessin mécanique d'une cible coaxiale qui représente l'assemblage mécanique.....                                                                                                  | 127 |
| Figure D.1 – Champ électrique d'une personne réelle tenant une pièce métallique, chargée à 5 kV, mesuré à une distance de 0,1 m et pour une longueur d'étincelle de 0,7 mm .....               | 131 |
| Figure D.2 – Champ magnétique d'une personne réelle tenant une pièce métallique, chargée à 5 kV, mesuré à une distance de 0,1 m et pour une longueur d'étincelle d'environ 0,5 mm .....        | 132 |
| Figure D.3 – Boucle en demi-cercle sur le plan de masse .....                                                                                                                                  | 132 |
| Figure D.4 – Tensions induites dans une demi-boucle .....                                                                                                                                      | 133 |
| Figure D.5 – Exemple de montage d'essai pour mesurer les champs de DES rayonnés .....                                                                                                          | 133 |
| Figure D.6 – Comparaison entre la chute de tension mesurée (trait plein) et la valeur calculée numériquement (trait pointillé) sur la boucle pour une distance de 45 cm.....                   | 135 |
| Figure D.7 – Comparaison entre le champ H calculé à partir des données mesurées (trait plein) et le champ H calculé par simulation numérique (trait pointillé) pour une distance de 45 cm..... | 135 |
| Figure D.8 – Structure illuminée par des champs rayonnés et circuit équivalent .....                                                                                                           | 136 |
| Figure D.9 – Champs H rayonnés.....                                                                                                                                                            | 136 |
| Figure G.1 – Exemple de montage d'essai pour matériels posés sur le sol, essais après installation .....                                                                                       | 154 |
| Figure I.1 – Exemple de montage d'essai pour les matériels montés au mur sur des surfaces non conductrices.....                                                                                | 156 |
| Figure I.2 – Exemple de montage d'essai pour les matériels montés au mur sur des surfaces conductrices .....                                                                                   | 157 |
| Figure J.1 – Exemple de formes d'onde de courant de décharge dans l'air pour des emplacements sur un corps humain chargé de 1 kV, déchargé par une tête de décharge dans l'air .....           | 159 |
| Tableau 1 – Niveaux d'essai .....                                                                                                                                                              | 94  |
| Tableau 2 – Paramètres généraux du générateur de DES.....                                                                                                                                      | 97  |
| Tableau 3 – Paramètres de forme d'onde de courant de décharge .....                                                                                                                            | 97  |
| Tableau A.1 – Lignes directrices pour le choix des niveaux d'essais de décharge dans l'air du corps humain.....                                                                                | 117 |
| Tableau E.1 – Cas d'application des DES sur les connecteurs .....                                                                                                                              | 138 |
| Tableau F.1 – Exemple de bilan d'incertitude pour le temps de montée de la décharge de courant de DES ( $t_r$ ).....                                                                           | 144 |
| Tableau F.2 – Exemple de bilan d'incertitude pour la première crête de décharge de courant de DES ( $I_{p1}$ ).....                                                                            | 146 |
| Tableau F.3 – Exemple de bilan d'incertitude pour la seconde crête de décharge de courant de DES ( $I_{p2}$ ).....                                                                             | 147 |
| Tableau F.4 – Exemple de bilan d'incertitude pour la décharge de courant de DES à 30 ns ( $I_{30}$ ).....                                                                                      | 148 |

|                                                                                                                                                                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau F.5 – Exemple de bilan d'incertitude pour la décharge de courant de DES à 60 ns ( $I_{60}$ ).....                                                                                                                    | 149 |
| Tableau F.6 – Facteur $\alpha$ – Formule (F.3) – de différentes réponses impulsionnelles unidirectionnelles qui correspondent à la même largeur de bande du système $B$ .....                                                | 151 |
| Tableau J.1 – Exemples de paramètres de forme d'onde pour caractériser les courants de décharge du générateur de DES, des électrodes portables et des électrodes montées sur le corps avec une tension chargée de 1 kV ..... | 159 |

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61000-4-2:2025

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –****Partie 4-2: Techniques d'essai et de mesure –  
Essai d'immunité aux décharges électrostatiques**

## AVANT-PROPOS

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

L'IEC 61000-4-2 a été établie par le sous-comité 77B: Phénomènes haute fréquence, du comité d'études 77 de l'IEC: Compatibilité électromagnétique. Il s'agit d'une Norme internationale.

Elle constitue la Partie 4-2 de l'IEC 61000. Elle a le statut d'une publication fondamentale en CEM conformément au Guide 107 de l'IEC.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition parue en 2008. Cette édition constitue une révision technique.

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

- a) ajout d'une exigence d'étalonnage pour les générateurs de DES à tête de décharge dans l'air;
- b) ajout d'une annexe normative pour les montages d'essai pour un type de matériel particulier (voir l'Annexe I);
- c) ajout d'une annexe informative pour les dispositifs portables (voir l'Annexe J);
- d) ajout d'une annexe informative qui décrit comment choisir les points d'essai et donne des recommandations sur la manière de spécifier le nombre d'impulsions pour les décharges au contact direct (voir l'Annexe E);
- e) transfert de l'Article 9 dans une nouvelle annexe informative (voir l'Annexe K);
- f) amélioration de la procédure d'étalonnage actuelle;
- g) amélioration des considérations relatives à l'incertitude de mesure par des exemples de bilans d'incertitude;
- h) les essais après installation ont été déplacés dans une nouvelle Annexe G informative car ils ne peuvent pas être réalisés dans un environnement maîtrisé.

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

| Projet       | Rapport de vote |
|--------------|-----------------|
| 77B/896/FDIS | 77B/897/RVD     |

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

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

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 61000, publiées sous le titre général *Compatibilité électromagnétique (CEM)*, se trouve sur le site web de l'IEC.

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

- reconduit,
- supprimé, ou
- révisé.

## INTRODUCTION

L'IEC 61000-4 fait partie de la série de normes IEC 61000 selon la structure suivante:

### **Partie 1: Généralités**

Considérations générales (introduction, principes fondamentaux)

Définitions, terminologie

### **Partie 2: Environnement**

Description de l'environnement

Classification de l'environnement

Niveaux de compatibilité

### **Partie 3: Limites**

Limites d'émission

Limites d'immunité (dans la mesure où elles ne relèvent pas de la responsabilité des comités de produits)

### **Partie 4: Techniques d'essai et de mesure**

Techniques de mesure

Techniques d'essai

### **Partie 5: Guides d'installation et d'atténuation**

Lignes directrices d'installation

Méthodes et dispositifs d'atténuation

### **Partie 6: Normes génériques**

### **Partie 9: Divers**

Chaque partie est à son tour subdivisée en plusieurs parties, publiées soit comme des Normes internationales soit comme des Spécifications techniques ou des Rapports techniques, dont certaines ont déjà été publiées sous forme de sections. D'autres seront publiées avec un tiret à la suite du numéro de partie suivi d'un second numéro pour identifier la subdivision (exemple: IEC 61000-6-1).

La présente partie de l'IEC 61000 est une Norme internationale qui traite des exigences en matière d'immunité et des procédures d'essai relatives aux décharges électrostatiques.

## COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –

### Partie 4-2: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux décharges électrostatiques

#### 1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61000 se rapporte aux exigences et méthodes d'essais relatives à l'immunité des matériels électriques et électroniques, soumis à des décharges d'électricité statique produites directement par les opérateurs, et entre le personnel et des objets situés à proximité. Elle spécifie en outre des plages de niveaux d'essais, qui correspondent à différentes conditions d'environnement et d'installation et elle établit des procédures d'essai.

Le présent document a pour objectif d'établir une base commune et reproductible pour l'évaluation des performances des matériels électriques et électroniques lorsqu'ils sont soumis à des décharges électrostatiques. Il intègre également les décharges électrostatiques qui peuvent se produire entre le personnel et des objets situés à proximité des matériels.

Le présent document spécifie:

- la forme d'onde idéale du courant de décharge;
- la plage des niveaux d'essais;
- le matériel d'essai;
- le montage d'essai;
- la procédure d'essai;
- la procédure d'étalonnage;
- l'incertitude de mesure.

Le présent document donne des spécifications pour les essais réalisés en laboratoire et des recommandations pour les essais après installation.

Le présent document ne vise pas à spécifier les essais à appliquer à des appareils ou systèmes particuliers. L'objet principal est de donner une référence principale générale à tous les comités de produits concernés. Les comités des produits restent responsables du choix approprié des essais et du niveau de sévérité à appliquer à leur matériel.

Le présent document exclut les essais destinés à évaluer la sensibilité aux DES des dispositifs au cours de la manipulation et de l'emballage. Il n'est pas destiné à caractériser les performances des circuits de protection contre les DES.

#### 2 Références normatives

Le présent document ne contient aucune référence normative.

### 3 Termes, définitions et abréviations

#### 3.1 Termes et définitions

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

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

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

##### 3.1.1

##### **partie accessible**

surfaces de l'EUT pouvant être touchées au moyen de la tête de décharge dans l'air du générateur de DES

[SOURCE: IEC 60050-442:1998, 442-01-15, modifié – "partie" a été remplacé par "surfaces de l'EUT" et "du doigt d'épreuve normalisé" a été remplacé par "de la tête de décharge dans l'air du générateur de DES".]

##### 3.1.2

##### **méthode de décharge dans l'air**

méthode d'essai dans laquelle la tête chargée du générateur d'essai est déplacée en direction de l'EUT jusqu'à ce qu'elle le touche

##### 3.1.3

##### **étalonnage**

ensemble des opérations établissant, en référence à des étalons, la relation qui existe, dans les conditions spécifiées, entre une indication et un résultat de mesure

Note 1 à l'article: Cette définition est conçue dans l'approche "incertitude".

Note 2 à l'article: La relation entre les indications et les résultats de mesures peut être donnée, en principe, dans un diagramme d'étalonnage.

[SOURCE: IEC 60050-311:2001, 311-01-09]

##### 3.1.4

##### **méthode de décharge au contact**

méthode d'essai dans laquelle la tête du générateur d'essai est mise en contact avec l'EUT ou le plan de couplage et où la décharge est déclenchée par le commutateur de décharge à l'intérieur du générateur

##### 3.1.5

##### **plan de couplage**

tôle ou plaque métallique sur laquelle les décharges sont appliquées de manière à simuler les décharges électrostatiques sur les objets adjacents à l'EUT

##### 3.1.6

##### **dégradation (de fonctionnement)**

écart non désiré des caractéristiques de fonctionnement d'un dispositif, d'un appareil ou d'un système par rapport aux caractéristiques attendues

Note 1 à l'article: Une dégradation peut être un défaut de fonctionnement temporaire ou permanent.

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-01-19]

### 3.1.7

#### **application directe**

application de la décharge directement sur l'EUT

### 3.1.8

#### **compatibilité électromagnétique**

##### **EMC**

aptitude d'un équipement ou d'un système à fonctionner dans son environnement électromagnétique de façon satisfaisante et sans produire lui-même des perturbations électromagnétiques intolérables pour tout ce qui se trouve dans cet environnement

[SOURCE: IEC 60050-161:2018, 161-01-07]

### 3.1.9

#### **décharge électrostatique**

##### **DES**

transfert de charges électriques entre des corps ayant des potentiels électriques différents lorsqu'ils sont proches ou mis en contact direct

Note 1 à l'article: Les ouvrages et l'enseignement font généralement référence à des transferts de charges, même si à proprement parler, des porteurs de charge (IEV 113-06-25) sont transférés.

[SOURCE: IEC 60050-161:2014, 161-01-22]

### 3.1.10

#### **condensateur de stockage d'énergie**

condensateur du générateur de DES qui représente la capacité d'un corps humain chargé à la valeur de la tension d'essai

Note 1 à l'article: Cet élément peut être un composant discret ou une capacité répartie.

### 3.1.11

#### **durée de maintien**

intervalle de temps pendant lequel la diminution de la tension d'essai due aux fuites se produisant avant la décharge n'est pas supérieure à 10 %

### 3.1.12

#### **immunité (à une perturbation)**

aptitude d'un dispositif, d'un appareil ou d'un système à fonctionner sans dégradation en présence d'une perturbation électromagnétique

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-01-20]

### 3.1.13

#### **application indirecte**

application de la décharge à un plan de couplage situé au voisinage de l'EUT pour simuler la décharge entre le personnel et les objets adjacents à l'EUT

**3.1.14****plan de masse de référence****RGP**

surface conductrice plate dont le potentiel électrique est identique à celui de la terre de référence, qui est utilisée comme référence commune, et qui contribue à une capacité parasite reproductible avec l'environnement du matériel en essai (EUT)

Note 1 à l'article: Dans certaines régions, le terme anglais "earth" est utilisé à la place de "ground".

Note 2 à l'article: L'abréviation RGP est dérivée du terme anglais développé correspondant "reference ground plane".

[SOURCE: IEC 60050-161:2014, 161-04-36, modifié – La Note 1 a été supprimée.]

**3.1.15****temps de montée**

durée de l'intervalle de temps entre les instants auxquels la valeur instantanée d'une impulsion atteint pour la première fois les limites inférieure et supérieure spécifiées

Note 1 à l'article: Sauf indication contraire, les valeurs inférieure et supérieure sont fixées à 10 % et 90 % de la hauteur de l'impulsion.

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-02-05, modifié – Le domaine a été supprimé et, dans la définition, "une valeur inférieure puis une valeur supérieure donnée" a été supprimé et "les limites inférieure et supérieure spécifiées" a été ajouté.]

**3.1.16****vérification**

ensemble des opérations utilisées pour vérifier le système d'équipement d'essai (par exemple, le générateur d'essai et les câbles d'interconnexion) et pour démontrer qu'il fonctionne

Note 1 à l'article: Les détails de la vérification sont donnés au 7.2.2.

Note 2 à l'article: Les méthodes utilisées pour la vérification peuvent être différentes de celles utilisées pour l'étalonnage.

Note 3 à l'article: Pour les besoins du présent document, cette définition diffère de celle donnée dans l'IEV sous la référence 311-01-13.

**3.2 Abréviations**

|                                 |                                 |
|---------------------------------|---------------------------------|
| AD (Air Discharge)              | Décharge dans l'air             |
| AE (Auxiliary Equipment)        | Équipement auxiliaire           |
| CD (Contact Discharge)          | Décharge au contact             |
| CEM                             | Compatibilité électromagnétique |
| DES                             | Décharges électrostatiques      |
| EUT (Equipment Under Test)      | Matériel en essai               |
| TF                              | Transformée de Fourier          |
| PCH                             | Plan de couplage horizontal     |
| HT                              | Haute tension                   |
| CI                              | Circuit intégré                 |
| IFT (Inverse Fourier Transform) | Transformée de Fourier inverse  |
| IM                              | Incertitude de mesure           |
| PE (Protective Earth)           | Mise à la terre de protection   |
| RGP (Reference Ground Plane)    | Plan de masse de référence      |
| PCV                             | Plan de couplage vertical       |
| VNA (Vector Network Analysis)   | Analyseur de réseau vectoriel   |

## 4 Généralités

Le présent document concerne les matériels, systèmes, sous-systèmes et périphériques qui peuvent être soumis à des décharges d'électricité statique en raison des conditions d'environnement et d'installation, telles qu'une faible humidité relative, l'utilisation de moquettes à faible conductivité (en fibres synthétiques), de vêtements en tissu synthétique, etc., qui peuvent exister à tous les emplacements répertoriés dans les normes applicables aux matériels électriques et électroniques. Ces informations sont spécifiées à l'Annexe A.

NOTE D'un point de vue technique, le terme précis pour ce phénomène serait "décharge d'électricité statique". Cependant, le terme "décharge électrostatique" (DES) est largement utilisé dans les instances et les ouvrages techniques. Il a donc été décidé de conserver le terme "décharge électrostatique" dans le titre du présent document.

Les décharges électrostatiques sont classées en deux catégories: les décharges au contact et les décharges dans l'air. De plus, les décharges au contact sont classées en décharges directes et décharges indirectes. Les décharges directes sont appliquées aux surfaces conductrices tandis que les décharges indirectes sont appliquées aux plans de couplage à proximité des EUT.

## 5 Niveaux d'essai

La plage des niveaux d'essai préférentiels à utiliser pour l'essai de DES est spécifiée dans le Tableau 1.

La méthode d'essai de décharge au contact est la méthode préférentielle. Les décharges dans l'air doivent être utilisées lorsque les décharges au contact ne peuvent pas être appliquées. Pour chaque méthode d'essai, les tensions sont spécifiées dans le Tableau 1. Les différences entre les tensions indiquées pour chaque méthode sont dues aux différences entre les méthodes d'essai. Cela ne signifie pas que la sévérité des essais soit équivalente entre les méthodes d'essai.

Des détails relatifs aux différents paramètres qui peuvent influencer le niveau de tension auquel le corps humain peut être soumis sont donnés à l'Article A.2. L'Article A.8 donne également des exemples d'application de niveaux d'essai correspondant à des classes d'environnement (d'installation).

Pour les essais de décharge dans l'air, l'essai doit être appliqué à tous les niveaux d'essai du Tableau 1 jusqu'au niveau d'essai spécifié inclus. Pour les essais de décharge indirecte et au contact, l'essai doit être appliqué au niveau d'essai spécifié.

Pour plus d'informations sur les variations des niveaux d'essai et les applications entre la décharge dans l'air et la décharge au contact, se reporter à l'Annexe A, en particulier aux Articles A.3 à A.7.

**Tableau 1 – Niveaux d'essai**

| Niveau                                                                     | Tension d'essai     |                     |
|----------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|
|                                                                            | Décharge au contact | Décharge dans l'air |
| 1                                                                          | 2 kV                | 2 kV                |
| 2                                                                          | 4 kV                | 4 kV                |
| 3                                                                          | 6 kV                | 8 kV                |
| 4                                                                          | 8 kV                | 15 kV               |
| NOTE Les comités de produits peuvent spécifier différents niveaux d'essai. |                     |                     |

## 6 Matériel d'essai

### 6.1 Vue d'ensemble

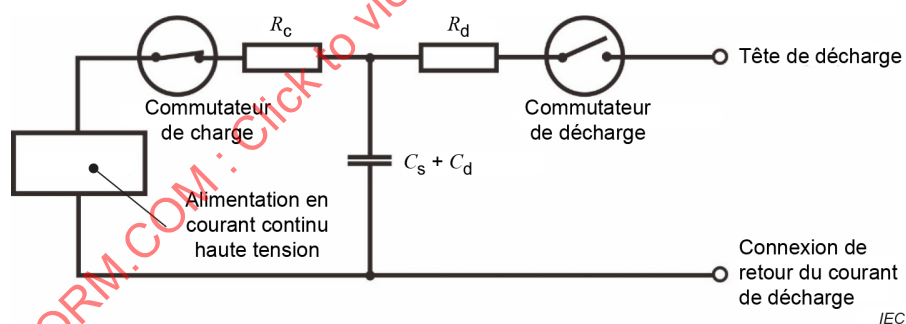
Le générateur de DES est conçu pour satisfaire aux caractéristiques du 6.2.2 et doit être étalonné conformément à la procédure du 6.3 en utilisant un système de mesure du courant étalonné conformément à l'Annexe B.

### 6.2 Générateur de DES

#### 6.2.1 Généralités

La Figure 1 représente un schéma de circuit simplifié d'un générateur de DES. Même si les détails de construction (forme, taille, poids, matériaux, etc.) du générateur ne sont pas spécifiés, les principaux éléments suivants sont utilisés dans la conception d'un générateur de DES:

- une résistance de charge  $R_c$ ;
- un condensateur de stockage d'énergie  $C_s$ ;
- une capacité répartie  $C_d$ ;
- une résistance de décharge  $R_d$ ;
- un indicateur de tension;
- un commutateur de décharge;
- un commutateur de charge;
- les têtes de décharge interchangeables (voir la Figure 3 et la Figure 4);
- un câble de retour du courant de décharge;
- un bloc d'alimentation.



#### Composants

$C_d$  est une capacité répartie qui existe entre le générateur et ce qui l'entoure.

$C_s + C_d$  a une valeur type de 150 pF.

$R_d$  a une valeur type de 330  $\Omega$ .

**Figure 1 – Schéma simplifié du générateur de DES**

Le générateur de DES doit satisfaire aux exigences spécifiées au 6.2.2 et indiquées sur la Figure 2 lorsqu'il est évalué conformément aux procédures du 6.3. Par conséquent, ni le schéma de la Figure 1 ni les valeurs des composants ne sont décrits.

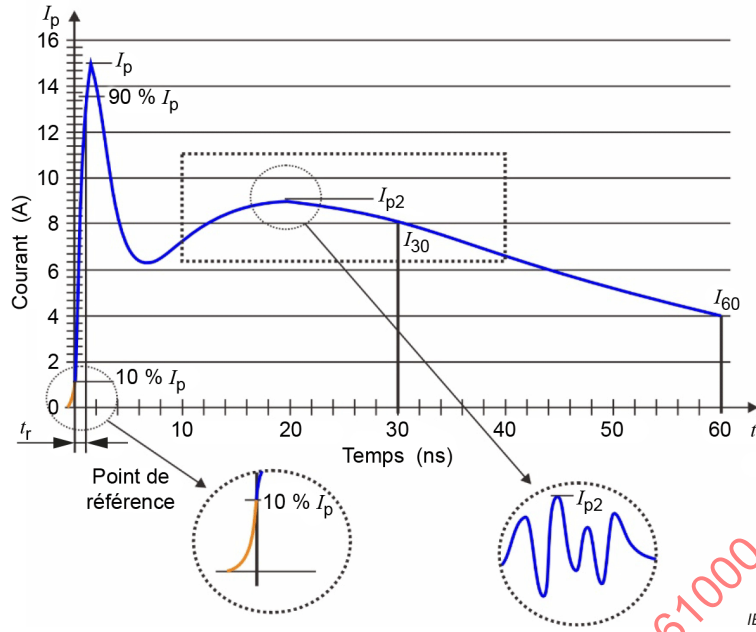


**Figure 2 – Forme d'onde idéale de courant de décharge au contact à 4 kV**

Une formule pour générer la forme d'onde de la Figure 2,  $I(t)$ , est la suivante:

$$I(t) = \frac{I_1}{k_1} \times \frac{\left(\frac{t}{\tau_1}\right)^n}{1 + \left(\frac{t}{\tau_1}\right)^n} \times \exp\left(\frac{-t}{\tau_2}\right) + \frac{I_2}{k_2} \times \frac{\left(\frac{t}{\tau_3}\right)^n}{1 + \left(\frac{t}{\tau_3}\right)^n} \times \exp\left(\frac{-t}{\tau_4}\right)$$

où

$$k_1 = \exp\left(-\frac{\tau_1}{\tau_2} \left(\frac{n\tau_2}{\tau_1}\right)^{1/n}\right)$$

$$k_2 = \exp\left(-\frac{\tau_3}{\tau_4} \left(\frac{n\tau_4}{\tau_3}\right)^{1/n}\right)$$

et

$\tau_1 = 1,1 \text{ ns}$ ;  $\tau_2 = 2,0 \text{ ns}$ ;  $\tau_3 = 12,0 \text{ ns}$ ;  $\tau_4 = 37,0 \text{ ns}$ ;

$I_1 = 16,6 \text{ A}$  (à 4 kV);  $I_2 = 9,3 \text{ A}$  (à 4 kV);

$n = 1,8$ .

## 6.2.2 Caractéristiques générales

### 6.2.2.1 Spécifications du générateur de DES

Les paramètres du générateur de DES sont spécifiés dans le Tableau 2 et le Tableau 3.

**Tableau 2 – Paramètres généraux du générateur de DES**

| Paramètres                                     | Valeurs                                                |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Tension de sortie, mode de décharge au contact | Au moins 2 kV à 8 kV, en valeur nominale               |
| Tension de sortie, mode de décharge dans l'air | Au moins 2 kV à 15 kV, en valeur nominale <sup>a</sup> |
| Tolérance sur la tension de sortie             | ±5 %                                                   |
| Polarité de la tension de sortie               | Positive et négative                                   |
| Durée de maintien, mode de décharge dans l'air | ≥ 5 s                                                  |
| Mode de fonctionnement des décharges           | Décharges simples <sup>b</sup>                         |

La tension en "circuit ouvert" est mesurée à la tête de décharge du générateur de DES.

<sup>a</sup> Il n'est pas nécessaire d'utiliser un générateur avec une capacité de décharge dans l'air de 15 kV si la tension d'essai maximale à utiliser est inférieure.

<sup>b</sup> Il convient que le générateur soit capable de produire à une fréquence de répétition d'au moins 20 décharges par seconde à des fins exploratoires.

**Tableau 3 – Paramètres de forme d'onde de courant de décharge**

| Niveau |     | Niveau de tension associé (Tableau 2) | Premier courant de crête $I_{p1}$ de décharge | Temps de montée <sup>a</sup> $t_r$ | Second courant de crête <sup>b</sup> $I_{p2}$ de décharge | Courant $I_{30}$ à 30 ns | Courant $I_{60}$ à 60 ns |
|--------|-----|---------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| CD     | AD  | kV                                    | (±15 %) A                                     | (±25 %) ns                         | (-20 %/+40 %) A                                           | (±30 %) A                | (±30 %) A                |
| 1      | 1   | 2                                     | 7,5                                           | 0,8                                | 4,5                                                       | 4,0                      | 2,0                      |
| 2      | 2   | 4                                     | 15,0                                          | 0,8                                | 9,0                                                       | 8,0                      | 4,0                      |
| 3      | --- | 6                                     | 22,5                                          | 0,8                                | 13,5                                                      | 12,0                     | 6,0                      |
| 4      | 3   | 8                                     | 30,0                                          | 0,8                                | 18,0                                                      | 16,0                     | 8,0                      |
| ---    | 4   | 15                                    | 56,3                                          | 0,8                                | 33,8                                                      | 30,0                     | 15,0                     |

Le point de référence pour les valeurs de temps est l'instant où le courant atteint pour la première fois 10 % de la 1<sup>re</sup> crête du courant de décharge.

Toutes les valeurs de courant et de tension sont données comme des valeurs absolues. La polarité respective de la décharge s'applique à toutes les valeurs.

<sup>a</sup> Le temps de montée,  $t_r$ , est la durée entre la valeur de 10 % et celle de 90 % de la 1<sup>re</sup> crête de courant.

<sup>b</sup> Il s'agit du courant maximal qui se produit dans la plage de temps comprise entre 10 ns et 40 ns à partir du point de référence.

Il convient d'équiper le générateur de moyens pour empêcher les émissions rayonnées ou conduites non désirées, qu'elles soient de type à impulsion ou continu, de manière à ne pas perturber l'EUT ou les matériels auxiliaires (AE) par des effets parasites (voir l'Annexe D).

Le câble de retour du courant de décharge du générateur de DES doit avoir une longueur d'au moins 2 m. Lorsqu'une longueur de 2 m du câble de retour du courant de décharge est insuffisante (pour les EUT de grandes tailles, par exemple), un câble plus long (par exemple, 3 m) peut être utilisé. La longueur du câble de retour du courant de décharge doit être mesurée entre le corps du générateur de DES et l'extrémité du point de connexion. Il doit être suffisamment isolé pour empêcher les fuites du courant de décharge pendant les essais de DES vers le personnel ou vers des surfaces conductrices, autrement que par son extrémité.

Le câble de retour du courant de décharge utilisé pour l'essai doit être le même câble que celui utilisé pendant l'étalonnage.

### 6.2.2.2 Caractéristiques de la tête de décharge au contact

La tête de décharge au contact doit être construite conformément à la Figure 3. La tête de décharge aux dimensions de la Figure 3 peut être recouverte par des revêtements isolants, sous réserve que les spécifications de forme d'onde du courant de décharge soient respectées.

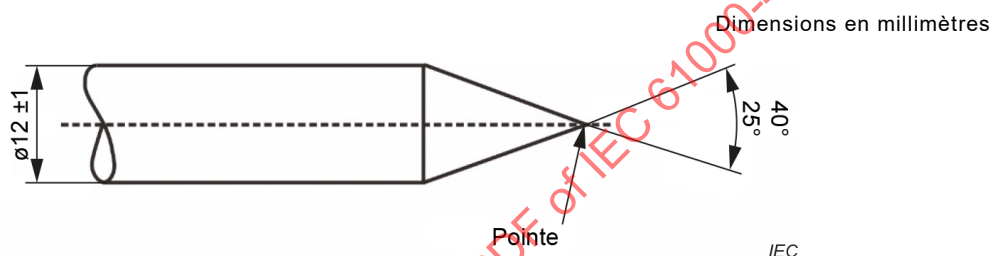


Figure 3 – Tête de décharge au contact du générateur de DES

### 6.2.2.3 Caractéristiques de la tête de décharge dans l'air

La tête de décharge dans l'air doit être construite conformément à la Figure 4. La tête de décharge aux dimensions de la Figure 4 peut être recouverte par des revêtements isolants, sous réserve que les spécifications de forme d'onde du courant de décharge soient respectées.

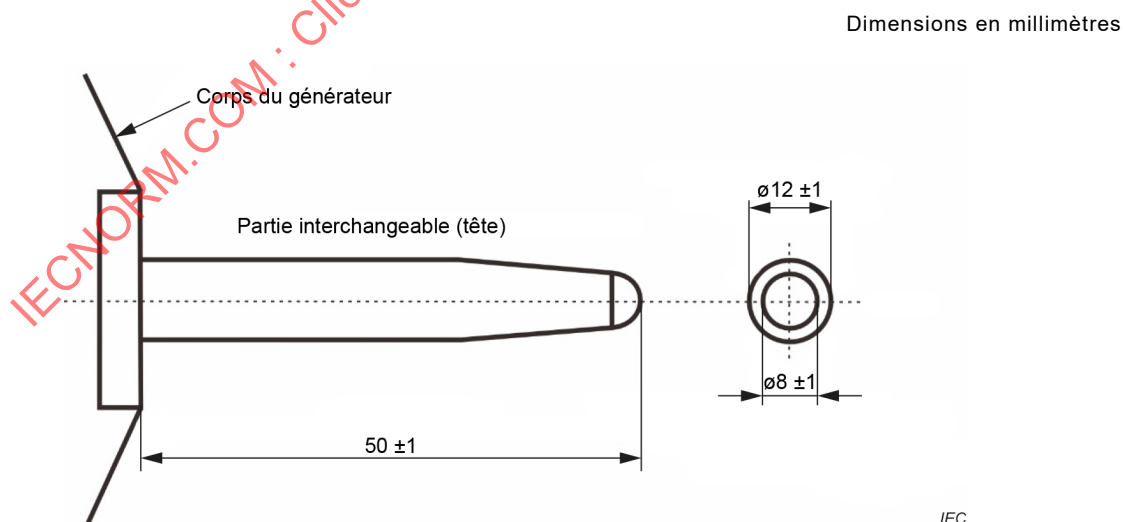


Figure 4 – Tête de décharge dans l'air du générateur de DES

### 6.3 Étalonnage des caractéristiques du générateur de DES

#### 6.3.1 Généralités

Le générateur de DES, y compris les têtes de décharge respectives (air et contact), doit être étalonné de manière à satisfaire aux spécifications données dans le Tableau 2 et le Tableau 3. Il doit être démontré que ces spécifications sont remplies au moyen du matériel d'essai spécifié au 6.3.2, avec le montage d'essai décrit au 6.3.3 et la méthode d'étalonnage spécifiée au 6.3.4.

L'étalonnage du générateur de DES doit être réalisé dans les limites de la plage des conditions climatiques comme cela est spécifié au 8.2.1. Le générateur de DES doit être alimenté de la même manière qu'il est utilisé pour les essais, c'est-à-dire que deux étalonnages sont applicables aux générateurs de DES qui peuvent être alimentés par le secteur ou une batterie lorsque les deux alimentations sont utilisées pour les essais.

Les générateurs de DES doivent être étalonnés aux niveaux d'essai 1 à 4, comme cela est indiqué dans le Tableau 1 avec les deux polarités.

Pour la décharge au contact, la procédure d'étalonnage complète spécifiée au 6.3.4 doit être réalisée à tous les niveaux d'essai indiqués ci-dessus, avec la tête de décharge au contact montée.

Pour la décharge dans l'air, si les têtes de décharge au contact et de décharge dans l'air sont composées d'un conducteur sans composants électroniques actifs ou passifs supplémentaires, l'étalonnage peut être limité à la mesure de la tension en circuit ouvert à la tête de décharge dans l'air à la tension d'essai maximale utilisée pour la décharge dans l'air. Sinon, il suffit d'effectuer en outre l'étalonnage de la décharge dans l'air conformément au 6.3.4.3 à l'un des niveaux spécifiés dans le Tableau 1 avec le générateur de DES utilisé en mode décharge au contact, mais avec la tête de décharge dans l'air montée.

NOTE 1 Certains générateurs ne peuvent pas être étalonnés à une décharge dans l'air de 15 kV. Si l'étalonnage de la décharge dans l'air ne peut pas être réalisé à 15 kV, le niveau de tension de décharge dans l'air inférieur suivant spécifié dans le Tableau 3 peut être utilisé pour l'étalonnage.

NOTE 2 Le processus du 6.3 est spécifié à des fins d'étalonnage. Une procédure est spécifiée en 7.2.2 pour la vérification du générateur avant les essais.

NOTE 3 Les informations relatives aux composants utilisés dans les têtes de décharge peuvent être obtenues auprès du fabricant.

NOTE 4 Il est extrêmement important de disposer de résultats d'étalonnage comparables pour une évaluation de DES. Cela est particulièrement le cas lorsque les essais sont conduits en utilisant des générateurs de DES de différents fabricants, ou lorsque des essais sont prévus pour s'étaler dans le temps. Il est essentiel que la répétabilité soit un facteur décisif dans l'évaluation. Il est utile d'étalonner périodiquement le générateur de DES.

#### 6.3.2 Matériel exigé pour l'étalonnage du générateur de DES

Le matériel suivant est exigé pour l'étalonnage des générateurs de DES:

- appareil de mesure haute tension capable de mesurer des tensions d'au moins 15 kV. Pour l'étalonnage de la tension de sortie en circuit ouvert, un diviseur haute tension résistif connecté à un voltmètre doit être utilisé. L'exactitude globale du diviseur haute tension qui inclut le voltmètre doit être de  $\pm 1$  % de la lecture relevée. La résistance d'entrée minimale du diviseur haute tension dépend du modèle du générateur de DES et doit être spécifiée par le fabricant du générateur. En variante, un voltmètre électrostatique avec la même exactitude peut être utilisé;

NOTE 1 Une valeur type pour la résistance d'entrée du diviseur haute tension est comprise entre 10 G $\Omega$  et 100 G $\Omega$ .

NOTE 2 Des mesures de protection peuvent être prises pour qu'aucune décharge en couronne ne se produise dans le dispositif de mesure, car cela influencerait le résultat de la mesure.

- oscilloscope avec une largeur de bande de  $\geq 2$  GHz et une fréquence d'échantillonnage de  $\geq 8$  GS/s;

- chaîne cible coaxiale de courant-affaiblisseur-câble avec la cible coaxiale de courant étalonnée conformément à l'Annexe B;

NOTE 3 Un exemple de cible adaptée est spécifié à l'Annexe C.

- un ou plusieurs affaiblisseurs avec une capacité de puissance suffisante en fonction des besoins.

### 6.3.3 Configuration pour l'étalonnage de la forme d'onde de courant du générateur de DES

La cible coaxiale de courant doit être montée dans un plan d'étalonnage vertical, comme cela est représenté sur la Figure 5. Le RGP avec les dimensions spécifiées sur la Figure 5 et qui englobe la projection du câble de retour du courant de décharge tiré sur le RGP doit être électriquement connecté au plan d'étalonnage vertical.

Le générateur doit être installé sur un trépied ou sur un support non conducteur équivalent. La tête de décharge doit être perpendiculaire au plan d'étalonnage vertical.

Le générateur de DES doit être en contact avec le conducteur central de la cible coaxiale de courant afin d'assurer le contact électrique.

La connexion du câble de retour du courant de décharge doit être réalisée, comme cela est représenté sur la Figure 5. Le câble de retour du courant de décharge doit être tiré vers l'arrière au milieu du câble en formant un triangle. Pendant l'étalonnage, le câble de retour du courant de décharge ne doit pas reposer sur le RGP ni être maintenu par les opérateurs.

Toute alimentation externe du générateur de DES doit être placée sur le RGP, comme cela est représenté sur la Figure 5. Aucun objet conducteur ne doit être placé dans les dimensions (par exemple, 1,5 m × 1,2 m) du montage d'étalonnage de la Figure 5. Le câble entre l'alimentation électrique et le générateur de DES doit être acheminé le long du RGP et du plan d'étalonnage vertical.

Dimensions en mètres

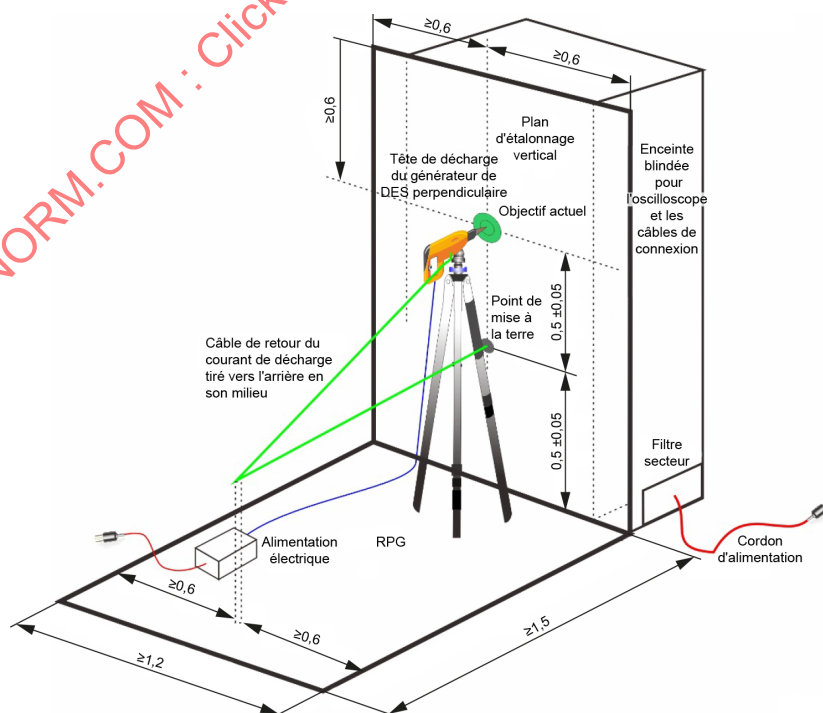


Figure 5 – Disposition pour l'étalonnage des performances du générateur de DES

Le blindage de l'oscilloscope n'est pas nécessaire s'il peut être prouvé par des mesurages que des chemins de couplage parasites sur le système de mesure n'influencent pas les résultats de l'étalonnage.

Le système de mesure peut être déclaré suffisamment immunisé (c'est-à-dire qu'un blindage n'est pas nécessaire) s'il n'y a pas de déclenchement de l'oscilloscope lorsque:

- le niveau de déclenchement de l'oscilloscope est réglé sur  $\leq 10\%$  du niveau d'essai le plus faible, et
- le générateur de DES est déchargé avec le niveau d'essai le plus élevé vers l'anneau extérieur de la cible coaxiale de courant (au lieu du conducteur central).

### 6.3.4 Procédure d'étalonnage du générateur de DES

#### 6.3.4.1 Généralités

Toutes les valeurs mesurées et au moins une forme d'onde de courant de décharge doivent être consignées dans le rapport d'étalonnage.

#### 6.3.4.2 Mesurage de la tension de sortie en circuit ouvert

Mesurer la tension de sortie en circuit ouvert du générateur de DES lorsque le commutateur de décharge est activé et vérifier qu'il satisfait aux exigences spécifiées dans le Tableau 2.

#### 6.3.4.3 Mesurage des paramètres de forme d'onde de courant

Suivre les étapes ci-dessous pour vérifier si la forme d'onde du courant d'un générateur de DES se situe dans les limites des spécifications. Enregistrer la forme d'onde de courant de cinq décharges pour les deux polarités et mesurer les paramètres suivants (voir la Figure 2 et la Tableau 3) pour chaque décharge:

- $I_{p1}$  1<sup>re</sup> valeur de crête du courant de décharge [A];
- $I_{p2}$  2<sup>de</sup> valeur de crête du courant de décharge [A];
- $I_{30}$  valeur du courant 30 ns après le point de référence (10 % de  $I_{p1}$ ) [A];
- $I_{60}$  valeur du courant 60 ns après le point de référence (10 % de  $I_{p1}$ ) [A];
- $t_r$  temps de montée du courant [ns].

Vérifier que chaque valeur se situe dans les limites spécifiées dans le Tableau 3.

Au moins une forme d'onde enregistrée d'une décharge au contact à 8 kV de polarité positive doit être incluse dans le rapport d'étalonnage.

## 7 Montage d'essai

### 7.1 Généralités

Le montage d'essai comprend l'EUT, l'AE et le générateur de DES nécessaire pour effectuer des applications directes et indirectes de décharges à l'EUT, de la manière suivante:

- a) décharge au contact sur des surfaces conductrices et sur des plans de couplage;
- b) décharge dans l'air sur des surfaces non conductrices.

L'EUT doit être mis en place et exploité conformément aux spécifications du produit.

## 7.2 Matériel d'essai

### 7.2.1 Généralités

Le montage d'essai de DES comporte:

- le générateur de DES;
- les têtes de décharge;
- le câble de retour du courant de décharge;
- les câbles de résistance d'écoulement;
- le PCH (le cas échéant) et le PCV;
- le support isolant;
- le RGP.

La Figure 6 et la Figure 8 montrent des exemples de montages d'essai de DES pour les matériels de table, et la Figure 7 et la Figure 9 pour les matériels posés sur le sol.

### 7.2.2 Vérification du matériel d'essai de DES

L'objet de cette vérification est de s'assurer que le matériel d'essai de DES fonctionne comme prévu. Une méthode de vérification peut consister à observer qu'à des réglages de tension peu élevés, une petite étincelle est créée lors de l'approche de la tête de la décharge vers le plan de couplage, et qu'une étincelle plus importante est créée avec des réglages de tension plus élevés. Les deux têtes de décharge doivent être vérifiées. D'autres méthodes de vérification peuvent être appliquées, par exemple l'autovérification.

NOTE Les paramètres de forme d'onde de courant des générateurs de DES ne varient généralement pas, par exemple la dérive du temps de montée et la dérive de la durée de la forme d'onde. Les défaillances des générateurs de DES les plus vraisemblables sont l'absence de tension fournie à la tête de décharge ou l'absence de contrôle de tension. Tout câble, résistance ou connexion du circuit de décharge peut être endommagé, desserré ou manquant, ce qui empêche toute décharge.

## 7.3 Montage d'essai utilisé pour les essais réalisés en laboratoire

### 7.3.1 Généralités

Les montages d'essai spécifiés au 7.3 sont des montages d'essai principaux pour le matériel de table et le matériel posé sur le sol. Pour les autres types de matériels, le cas échéant, l'Annexe I doit s'appliquer en plus des exigences du 7.3.

### 7.3.2 Conditions d'essai

Les exigences suivantes s'appliquent aux essais réalisés en laboratoire dans les conditions d'environnement de référence spécifiées au 8.2.

Le RGP doit être constitué d'une tôle ou d'une plaque en cuivre ou en aluminium de 0,25 mm d'épaisseur minimale, d'autres matériaux métalliques peuvent être utilisés sous réserve qu'ils aient une épaisseur de 0,65 mm.

Le RGP doit dépasser l'EUT et le plan de couplage horizontal (le cas échéant) d'au moins 0,5 m sur tous les côtés, et il doit être relié au système de mise à la terre de protection. Des réglementations locales de sécurité peuvent s'appliquer.

Une distance minimale de 0,8 m doit être respectée entre l'EUT et les murs du laboratoire ou toute autre structure métallique.

L'EUT et le générateur de DES (y compris toute alimentation externe) doivent être reliés à la terre conformément à leurs spécifications d'installation. Aucune connexion de terre additionnelle n'est admise.

Toute alimentation externe du générateur de DES doit être placée sur le RGP.

Le placement des câbles d'alimentation et de signaux de l'EUT doit être représentatif des conditions d'installation rencontrées en pratique.

Le câble de retour du courant de décharge du générateur de DES doit être relié au RGP. Lorsque la longueur du câble est supérieure à celle nécessaire pour appliquer les décharges aux points choisis, la longueur excédentaire doit être maintenue à l'écart du RGP et ne doit pas être rassemblée en faisceau ni bobinée. Le câble de retour du courant de décharge ne doit pas s'approcher à moins de 0,1 m des autres parties conductrices du montage d'essai.

Le câble de retour du courant de décharge peut être connecté à la paroi métallique du laboratoire d'essai sous réserve que cette paroi soit reliée électriquement au RGP.

Les connexions au RGP et à toutes les liaisons doivent présenter une faible impédance ( $\leq 0,1 \Omega$ , par exemple), par exemple au moyen de dispositifs de fixation mécaniques.

Lorsque les plans de couplage sont spécifiés, par exemple pour permettre une application indirecte de la décharge, ils doivent être construits à partir d'une plaque en cuivre ou en aluminium d'une épaisseur minimale de 0,25 mm. D'autres matériaux métalliques peuvent être utilisés, mais ils doivent avoir une épaisseur minimale de 0,65 mm. Les plans de couplage doivent être connectés au RGP par l'intermédiaire d'un câble avec deux résistances de  $(470 \pm 10 \%) \text{ k}\Omega$  situées jusqu'à 10 cm de chaque extrémité (c'est-à-dire un câble avec résistance d'écoulement). Ces résistances doivent pouvoir résister à la tension de décharge. Les résistances et les câbles doivent être isolés pour éviter les courts-circuits avec le RGP lorsque le câble est posé sur ce RGP.

NOTE 1 Les résistances de  $(470 \pm 10 \%) \text{ k}\Omega$  qui se trouvent dans les câbles de résistance d'écoulement des PCH et PCV (voir la Figure 6, la Figure 7, la Figure 8, la Figure 9, la Figure I.1 et la Figure I.2) sont utilisées pour éviter que la charge appliquée aux plans disparaisse de manière instantanée après la décharge du générateur de DES sur le plan. Cela augmente l'incidence de la DES sur l'EUT. Ils sont placés à proximité de chaque extrémité du câble de mise à la terre afin de réaliser une résistance répartie.

NOTE 2 Sauf décision contraire des comités de produits, les essais de DES sur les matériels montés au plafond ne sont généralement pas applicables, car ces matériels ne sont pas touchés par l'utilisateur après l'installation.

Tout support de montage associé à l'EUT doit rester en place. Tout AE peut être placé n'importe où (en dehors de l'environnement d'essai, RGP, PCH, par exemple). Les câbles d'interconnexion entre l'EUT et l'AE peuvent être découplés pour protéger l'AE des décharges ou parce que la spécification de l'EUT exige des câbles découplés.

### 7.3.3 Matériels de table

Le montage d'essai doit comprendre un support non conducteur d'une hauteur de  $(0,8 \pm 0,08) \text{ m}$ , placée sur le RGP. La table peut être remplacée par tout support non conducteur.

Le PCH doit être placé sur la table et relié au RGP par le câble de résistance d'écoulement du PCH. La longueur maximale du câble de résistance d'écoulement doit être de 1,5 m et celui-ci doit être maintenu à l'écart du PCH et du RGP.

NOTE En règle générale, le câble de résistance d'écoulement du PCH est connecté au bord du PCH en ligne verticale jusqu'au RGP, c'est-à-dire une connexion courte (voir la Figure 6).

Le PCH doit avoir une surface minimale de  $1,23 \text{ m}^2$  et doit être suffisamment grand pour assurer que l'EUT peut être placé à au moins 0,1 m de la périphérie du PCH. Le PCH peut avoir différentes formes (carré, rectangulaire, circulaire, par exemple). Le PCH peut être une combinaison de différents PCH qui doivent être reliés entre eux avec une faible impédance, c'est-à-dire une connexion continue le long du bord.

La taille du PCH doit correspondre à la taille de l'EUT; c'est-à-dire que le PCH ne doit pas dépasser de plus de 0,8 m l'un des bords de l'EUT.

L'EUT et ses câbles doivent être séparés du PCH par une isolation d'une épaisseur de  $(0,5 \pm 0,05)$  mm. Le câble de résistance d'écoulement du PCH doit être connecté au PCH.

Lors des décharges indirectes, un PCV carré de  $(0,5 \pm 0,005)$  m de côté doit être placé sur un support non conducteur et doit être situé à  $(0,1 \pm 0,01)$  m du côté de l'EUT. Le PCV doit être isolé du PCH et uniquement relié au RGP par le câble de résistance d'écoulement du PCV. Le câble de résistance d'écoulement du PCV doit avoir une longueur maximale de 3 m et ne doit pas être rassemblé en faisceau.

La Figure 6 représente un exemple de montage d'essai pour matériels de table.

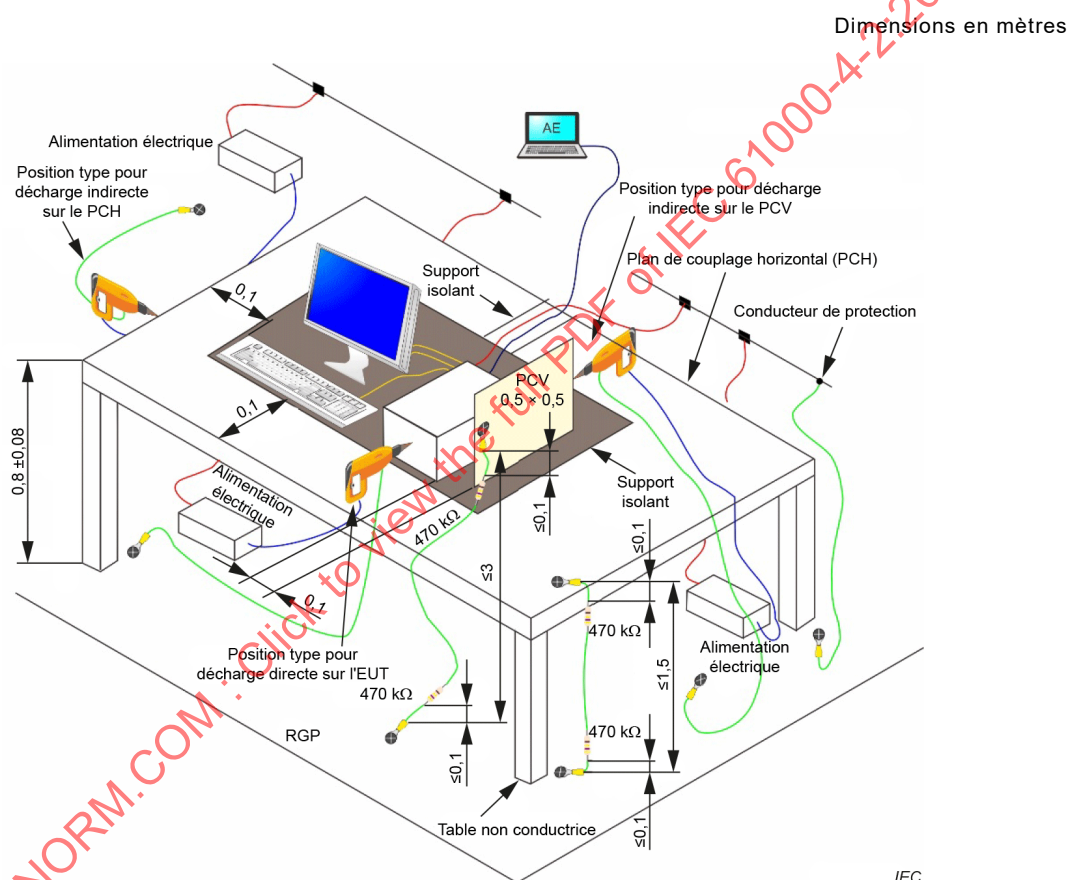


**Figure 6 – Exemple de montage d'essai pour un matériel de table**

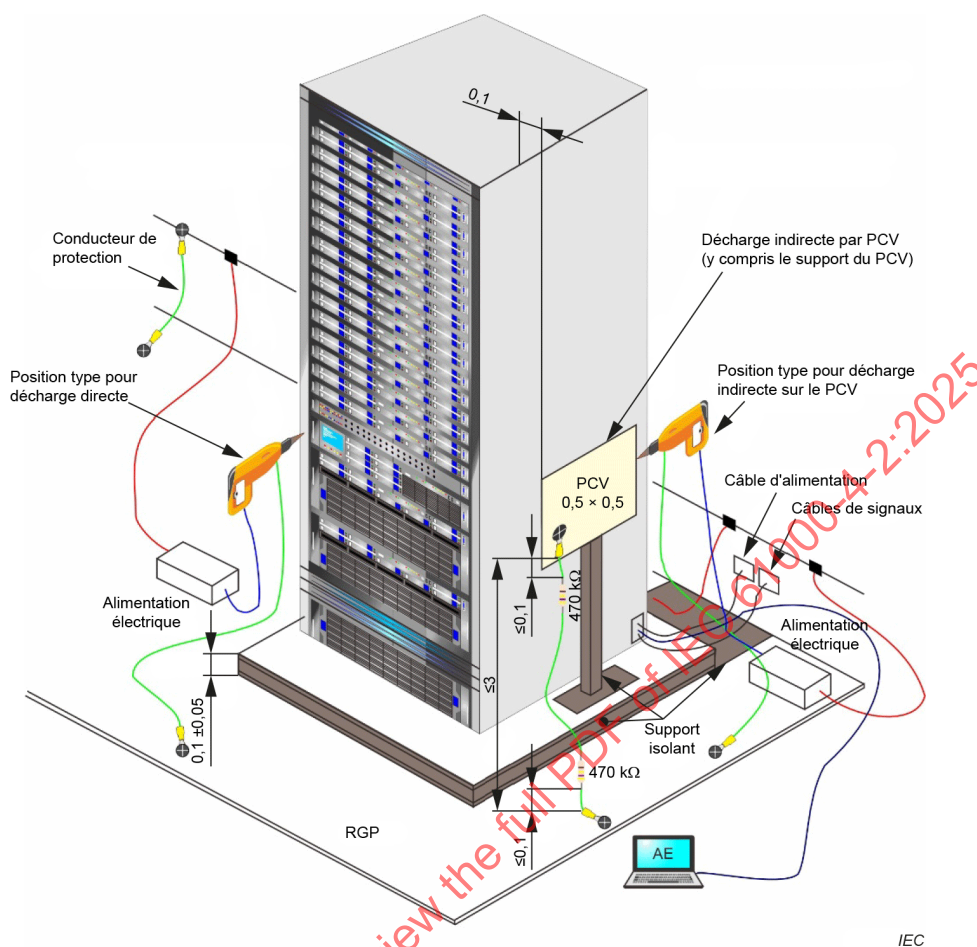
#### 7.3.4 Matériels posés sur le sol

L'EUT doit être isolé du RGP par un support non conducteur d'une hauteur de  $(0,1 \pm 0,05)$  m.  
Les câbles de l'EUT doivent être isolés du RGP par un support isolant de  $(0,5 \pm 0,05)$  mm.

Lors des décharges indirectes, un PCV carré de  $(0,5 \pm 0,005)$  m de côté doit être placé sur la table et doit être situé à  $(0,1 \pm 0,01)$  m du côté de l'EUT. Le PCV doit être relié au RGP par le câble de résistance d'écoulement du PCV. Le câble de résistance d'écoulement du PCV doit avoir une longueur maximale de 3 m et ne doit pas être rassemblé en faisceau.

La Figure 7 représente un exemple de montage d'essai pour matériels posés sur le sol.

Dimensions en mètres



IEC

**Figure 7 – Exemple de montage d'essai pour un matériel posé sur le sol**

Tout support de montage associé à l'EUT doit rester en place. Les essais après installation peuvent être utilisés comme méthode d'essai alternative pour les matériels ou systèmes de grande taille qui ne peuvent pas être installés dans des laboratoires (voir l'Annexe G pour plus d'informations).

### 7.3.5 Exigences particulières pour les matériels non raccordés à la terre

Le montage d'essai spécifié au 7.3.5 s'applique aux matériels ou partie(s) des matériels dont les spécifications d'installation ou la conception excluent tout raccordement à un système de mise à la terre. Les matériels ou parties de ceux-ci comprennent les matériels portables, alimentés par batterie (interne et externe) avec ou sans chargeur (câble d'alimentation non relié à la terre) et les matériels à double isolation (par exemple, les matériels de classe II, définis dans l'IEC 62368-1). Il couvre les matériels de table (voir la Figure 8) et les matériels posés sur le sol (voir la Figure 9).

La justification est que les matériels, y compris la ou les parties des matériels non raccordés à la terre, ne peuvent pas se décharger de manière similaire aux matériels de classe I alimentés par le secteur. Si la charge n'est pas écoulee avant l'application de l'impulsion de DES suivante, il est possible que l'EUT ou une ou plusieurs parties de l'EUT soient soumises à une tension jusqu'à deux fois supérieure à la tension d'essai prévue. Par conséquent, ce type de matériels ou des parties de matériels pourraient accumuler une valeur élevée non réaliste de plusieurs DES sur la capacité de l'isolation de classe II, et se décharger ensuite à la tension de claquage de l'isolation avec une énergie beaucoup plus élevée.

NOTE 1 Pour les produits qui comportent des pièces de métal flottantes accessibles par l'utilisateur, la décharge au contact sur le métal flottant pourrait entraîner une décharge secondaire à l'intérieur du produit et provoquer des défaillances. Selon la taille de l'espace entre le métal flottant exposé et les structures internes de mise à la terre, la décharge secondaire peut parfois, à des niveaux de tension inférieurs, être dirigée plus près des composants électroniques sensibles ou être plus prononcée qu'à des niveaux supérieurs. Cela est également le cas lorsqu'il existe un chemin de mise à la terre qui repose sur une couche d'isolation mince, comme un conducteur adhésif. À des niveaux de tension plus élevés, la DES peut former un arc à travers la mince couche d'adhésif, mais à des niveaux inférieurs, l'étincelle peut être forcée d'emprunter un chemin différent et provoquer des défaillances. Pour les produits tels que les dispositifs portatifs, les comités de produits peuvent spécifier que les décharges au contact doivent également être appliquées aux niveaux d'essai inférieurs.

Le montage général d'essai doit être identique à ceux spécifiés au 7.3.3, 7.3.4 et, le cas échéant, à l'Annexe I, respectivement.

Pour simuler une DES unique (décharge dans l'air ou décharge au contact), la charge sur l'EUT doit être évacuée avant chaque impulsion de DES appliquée.

Lorsqu'une ou plusieurs parties métalliques accessibles sont soumises à l'essai de DES, la charge doit être évacuée à partir du point où l'impulsion de DES est à appliquer, car aucune garantie ne peut être donnée quant à la résistance entre ce point et les autres points accessibles sur le produit.

Un câble avec des résistances d'écoulement de 470 kΩ, similaire à celui utilisé avec les PCH et PCV, est le dispositif préférentiel pour évacuer les charges (voir le 7.3.2).

Comme la capacité entre l'EUT et le PCH (matériel de table) et entre l'EUT et le RGP (matériel posé sur le sol) est déterminée par la taille de l'EUT, le câble avec des résistances d'écoulement peut rester installé entre l'EUT et le RGP pendant l'essai de DES lorsqu'il ne compromet pas le fonctionnement de l'EUT.

La présence du câble avec les résistances d'écoulement peut influencer les résultats d'essai. Lorsque le résultat d'essai est influencé par les résistances d'écoulement, un essai avec le câble déconnecté pendant l'impulsion de DES prévaut sur l'essai avec le câble installé pendant l'essai, sous réserve que la charge ait suffisamment diminué entre les décharges successives.

Par conséquent comme variante, les options suivantes peuvent être utilisées:

- la durée entre les décharges successives doit être étendue au temps nécessaire pour permettre la décroissance naturelle de la charge de l'EUT;
- le balayage de l'EUT avec une brosse à fibres de carbone mise à la terre avec des résistances d'écoulement (par exemple, 2 × 470 kΩ) dans le câble de mise à la terre;
- avec une fonction de décharge automatique si elle est incluse dans le générateur de DES.

NOTE 2 Pour s'assurer que la charge a diminué, la charge de l'EUT peut être surveillée par un mesureur de champ électrique sans contact. Lorsque la charge a déchu au-dessous de 10 % de la tension d'essai, l'EUT est considéré comme déchargé.

NOTE 3 La connexion "pointillée" (c'est-à-dire "A") représentée sur la Figure 8 et la Figure 9 s'applique au processus de décharge pendant une courte période, tandis que la connexion "non pointillée" (c'est-à-dire "B") représente la position lors de l'application des essais de DES (situation "normale").



Dimensions en mètres

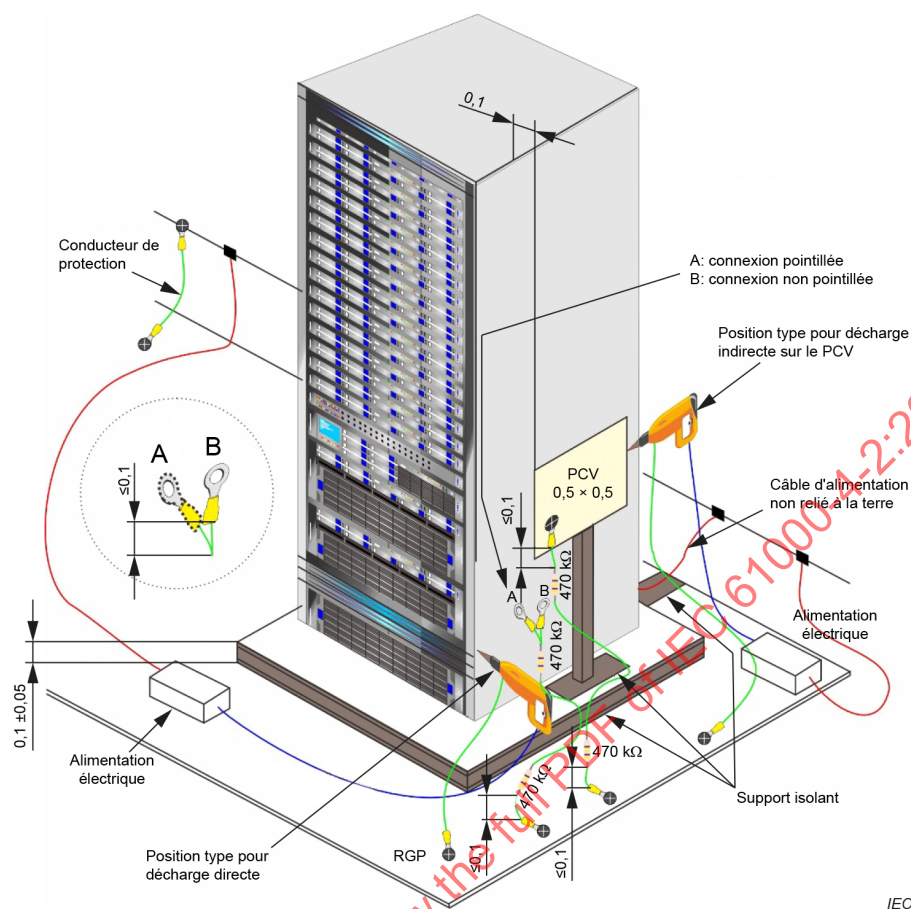


**Figure 9 – Exemple de montage d'essai pour un matériel posé sur le sol non raccordé à la terre**

## 8 Procédure d'essai

### 8.1 Généralités

La procédure d'essai comprend:

- la vérification de l'instrumentation d'essai conformément au 7.2.2;
- la confirmation des conditions de référence du laboratoire;
- la vérification fonctionnelle pour s'assurer du fonctionnement correct de l'EUT;
- l'exécution de l'essai.

### 8.2 Conditions de référence du laboratoire

#### 8.2.1 Conditions climatiques

L'EUT doit fonctionner dans les conditions climatiques prévues pour son utilisation.

Dans le cas des essais de décharge dans l'air, les conditions climatiques doivent se situer dans les plages suivantes:

- température ambiante: 15 °C à 35 °C;
- humidité relative: 30 % à 60 %;
- pression atmosphérique: 86 kPa (860 mbar) à 106 kPa (1 060 mbar).

D'autres valeurs peuvent être applicables pour les matériels utilisés dans des environnements climatiques particuliers.

Les essais de DES peuvent être réalisés à une humidité relative inférieure à 30 %. Si l'EUT satisfait aux critères de performances spécifiés dans ces conditions, aucune autre action n'est exigée. Sinon, l'essai doit être réalisé dans la plage d'humidité relative spécifiée ci-dessus.

NOTE Lorsque l'humidité relative diminue, la valeur du premier courant de crête augmente et le temps de montée diminue.

La valeur absolue (non corrigée par rapport au niveau de la mer) de la pression atmosphérique au moment des essais peut être obtenue à partir d'une station météorologique locale. Par conséquent, il n'est pas nécessaire que les laboratoires d'essai disposent de l'instrumentation d'essai pour la pression atmosphérique.

## **8.2.2 Conditions électromagnétiques**

Les conditions électromagnétiques du laboratoire doivent être de nature à assurer le fonctionnement correct de l'EUT afin de ne pas influencer les résultats d'essai.

## **8.3 Exécution de l'essai**

### **8.3.1 Fonctionnement de l'EUT**

Il convient de réaliser l'essai à partir d'un plan d'essai qui doit inclure les critères de performance de l'EUT conformément à ses spécifications techniques.

Le programme et le logiciel d'essai doivent être choisis de manière à faire fonctionner tous les modes d'utilisation normale de l'EUT. Si un matériel de surveillance est exigé, il convient qu'il ne soit pas compromis par la DES. Les essais doivent être conduits par application directe ou indirecte, ou les deux, des décharges sur l'EUT, et il convient de les réaliser conformément au plan d'essai.

Il convient que le plan d'essai spécifie:

- l'emplacement de l'essai;
- les conditions de fonctionnement représentatives de l'EUT;
- la disposition du montage d'essai de l'EUT;
- le niveau d'essai et la polarité;
- l'emplacement du PCH et du PCV, le cas échéant;
- le nombre et le type de décharges à appliquer à chaque point;
- la durée entre les décharges successives;
- les points auxquels les décharges doivent être appliquées;

NOTE 1 Les points d'essai auxquels les décharges sont appliquées peuvent être choisis au moyen d'une étude.

- le revêtement déclaré comme matériau isolant pour les points spécifiques, le cas échéant;
- le matériel auxiliaire (AE), y compris le matériel de mise à la terre et de découplage, s'il est utilisé.

Il peut être nécessaire d'effectuer des essais préliminaires pour établir certains aspects des points ci-dessus.

NOTE 2 Voir l'Annexe F pour avoir des exemples de bilans d'incertitude, en cas de nécessité de fournir une incertitude de mesure.

Les résultats des essais doivent être évalués après les essais. L'Annexe K donne des recommandations et des informations sur la manière de formuler des critères de performance spécifiques au produit, le cas échéant.

### 8.3.2 Application directe des décharges sur l'EUT

Sauf décision contraire des comités de produits, les décharges électrostatiques ne doivent être appliquées qu'aux points et surfaces de l'EUT qui sont accessibles par les personnes en utilisation normale; voir l'Annexe E.

L'essai doit être réalisé avec des décharges simples. Un nombre spécifié de décharges doit être appliqué à chaque point d'essai choisi pour les deux polarités. Le nombre total de décharges appliquées à un EUT dépend du nombre de points d'essai identifiés sur l'EUT. Il convient que les comités de produits spécifient le nombre de décharges par point de décharge et étudient s'il est nécessaire de donner des recommandations sur des durées plus élevées entre les impulsions.

L'Article E.7 donne des recommandations sur la manière de déterminer le nombre d'impulsions, y compris la durée entre les décharges simples successives. Si les comités de produits ne le spécifient pas, 10 décharges par polarité doivent être appliquées.

Si un EUT présente des performances variables au cours de l'application des décharges et qu'il n'est pas possible de déterminer si la variation est due à l'application des décharges, la stratégie d'intensification de l'Annexe H doit être appliquée.

NOTE L'Annexe H ne s'applique pas lorsqu'un EUT fonctionne toujours de la même manière en raison de l'application de décharges et qu'un résultat d'essai peut donc être déterminé.

Le générateur de DES doit, à chaque fois que cela est possible, être tenu perpendiculairement à la surface sur laquelle la décharge est appliquée. Cela améliore la répétabilité des résultats d'essais. Si le générateur de DES ne peut pas être tenu perpendiculairement à la surface, les conditions d'essai utilisées pour réaliser des décharges doivent être consignées dans le rapport d'essai.

Le câble de retour du courant de décharge du générateur doit être éloigné de l'EUT et maintenu à une distance d'au moins 0,1 m de l'EUT pendant l'application de la décharge et il ne doit pas être tenu par l'opérateur.

Dans le cas d'une décharge au contact, la tête de décharge au contact doit toucher la partie conductrice de l'EUT avant le fonctionnement du commutateur de décharge. Dans le cas de surfaces peintes qui couvrent un substrat conducteur, la tête de décharge au contact doit pénétrer le revêtement pour entrer en contact avec le substrat, sauf si le revêtement est déclaré comme matériau isolant. Lorsque le revêtement est déclaré comme isolant, seules des décharges dans l'air doivent être appliquées à cette surface.

Dans le cas d'une décharge dans l'air, le commutateur de décharge dans le générateur de DES (voir la Figure 1) doit être fermé avant d'appliquer la décharge à l'EUT. Le générateur de DES doit être approché aussi vite que possible (sans provoquer de dommages mécaniques) jusqu'à ce que le contact entre la tête de décharge et l'EUT soit établi afin d'assurer la possibilité d'une décharge. Après chaque approche, le générateur de DES (tête de décharge) doit être éloigné de l'EUT. Le générateur est alors réenclenché pour une nouvelle décharge simple.

À chaque point d'essai, le nombre spécifié de décharges (pour chaque polarité) doit être appliqué au niveau d'essai spécifié avec une durée entre les décharges simples successives d'au moins 1 s. Cette procédure doit être répétée pour tous les points d'essai spécifiés.

### **8.3.3 Application indirecte des décharges**

#### **8.3.3.1 Décharges sur les objets proches de l'EUT**

Les décharges sur les objets placés sur l'EUT ou installés près de celui-ci doivent être simulées par application des décharges au contact du générateur de DES à un plan de couplage.

Si l'intervalle de temps entre les impulsions n'est pas spécifié par les comités de produits, au moins 1 s doit s'appliquer.

Le grand axe de la tête de décharge doit se trouver dans le plan du PCH ou du PCV et perpendiculairement à son bord avant au cours de la décharge.

En plus de la procédure d'essai du 8.3.2, les exigences spécifiées au 8.3.3.2 et au 8.3.3.3 doivent être respectées.

Les décharges sur le plan de couplage en face des structures métalliques d'un EUT qui n'ont pas d'ouvertures ne sont pas exigées.

#### **8.3.3.2 Plan de couplage horizontal (PCH)**

La décharge doit être appliquée horizontalement sur la tranche du PCH.

Si le nombre d'impulsions n'est pas spécifié par les comités de produits, 10 décharges par polarité doivent être appliquées sur le bord avant du PCH en face du point milieu de chaque unité, le cas échéant, de l'EUT et à 0,1 m de la face avant et d'un côté de l'EUT (voir la Figure 6 et la Figure 8 pour des exemples).

La tête de décharge doit se trouver en contact avec la tranche du PCH avant le déclenchement du commutateur de décharge (voir la Figure 6).

Toutes les faces de l'EUT qui sont soumises à une décharge indirecte vers le PCH au cours de l'utilisation normale prévue doivent être exposés à cet essai.

#### **8.3.3.3 Plan de couplage vertical (PCV)**

Si le nombre d'impulsions n'est pas spécifié par les comités de produits, 10 décharges par polarité doivent être appliquées au centre d'un bord vertical du plan de couplage (voir la Figure 6 et la Figure 7 pour des exemples).

Les décharges sur le PCV doivent être appliquées à toutes les surfaces verticales accessibles de l'EUT, à l'exception des surfaces métalliques raccordées à la terre, lorsque les décharges directes sont applicables. Les décharges doivent être appliquées au plan de couplage avec des positions suffisamment différentes pour que toutes les surfaces verticales accessibles soient complètement illuminées. Une position de PCV est considérée comme illuminant une zone de 0,5 m × 0,5 m de la surface de l'EUT.

## 9 Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit comprendre l'ensemble des informations nécessaires pour reproduire l'essai. En particulier, les informations suivantes doivent être consignées:

- les points spécifiés dans le plan d'essai exigé au 8.3.1 du présent document, à l'exception des enregistrements de vérification;
- l'identification de l'EUT et de l'AE (par exemple marque, type de produit, numéro de série, version du logiciel);
- le niveau d'essai;
- l'identification du matériel d'essai (p. ex.: marque, type de produit, numéro de série);
- la longueur du câble de retour du courant de décharge;
- toutes les conditions d'environnement spéciales dans lesquelles l'essai a été réalisé (par exemple, enceinte blindée);
- toutes les conditions particulières nécessaires pour permettre la réalisation de l'essai;
- les critères de performances spécifiés dans la norme générique, de produit ou de famille de produits;
- tous les effets observés sur l'EUT pendant ou après l'application de la perturbation, et la durée pendant laquelle ces effets ont persisté;
- la justification de la décision de réussite/d'échec en fonction des critères de performances spécifiés;
- toutes les conditions spécifiques d'utilisation (par exemple, longueur ou type de câble, blindage ou raccordement à la terre) ou les conditions de fonctionnement de l'EUT;
- le montage d'essai;
- les conditions climatiques (pour les décharges dans l'air);
- les dessins ou images, ou les deux, du montage d'essai et de la disposition de l'EUT;
- les schémas ou photographies qui indiquent les points de décharge;
- le nombre de décharges par point de décharge;
- les dimensions et la forme du PCH, s'il est utilisé;
- la stratégie d'intensification, si elle est utilisée.

## **Annexe A** **(informative)**

### **Notes explicatives**

#### **A.1 Considérations générales**

Le problème de la protection des matériels contre les décharges d'électricité statique a pris une importance considérable pour les fabricants et les utilisateurs.

L'utilisation intensive de composants microélectroniques a accentué la nécessité de spécifier les aspects de ce problème et de chercher une solution afin d'augmenter la fiabilité du produit/système.

Le problème de l'accumulation de l'électricité statique et des décharges qui en résultent devient plus important dans les environnements non maîtrisés et dans le cas d'une utilisation étendue de matériels et de systèmes.

Le matériel peut également être soumis à des énergies électromagnétiques chaque fois que des décharges se produisent entre les opérateurs et les objets voisins. De plus, des décharges peuvent se produire entre des objets métalliques, comme les tables et les chaises, situés à proximité du matériel. Les essais spécifiés dans le présent document sont considérés comme ne simulant pas de manière appropriée les effets de ce dernier phénomène.

Les effets de la décharge d'un opérateur peuvent être un simple mauvais fonctionnement du matériel ou une détérioration de composants électroniques. Les effets prédominants peuvent dépendre des paramètres du courant de décharge (temps de montée, durée, etc.).

La connaissance du problème et la nécessité d'avoir un outil pour empêcher les effets indésirables dus à la décharge d'électricité statique sur les matériels ont amorcé le développement d'une procédure d'essai normalisée, spécifiée dans le présent document.

#### **A.2 Influences des conditions d'environnement sur les niveaux de charge**

La génération de charges électrostatiques est particulièrement favorisée par la combinaison de tissus synthétiques et d'une atmosphère sèche. Il existe de nombreuses variantes possibles dans le processus de charge. Une situation courante est celle d'un opérateur qui marche sur une moquette et qui, à chaque pas, échange des électrons entre son corps et le tissu. Le frottement entre les vêtements de l'opérateur et sa chaise peut également produire un échange de charges. Le corps de l'opérateur peut être chargé soit directement, soit par induction électrostatique. Dans ce dernier cas, une moquette conductrice ne fournit aucune protection à moins que l'opérateur ne soit correctement relié à la terre.

La représentation graphique de la Figure A.1 montre les valeurs de tension auxquelles différents tissus peuvent être chargés en fonction de l'humidité relative de l'atmosphère.

La représentation graphique de la Figure A.1 montre les valeurs de tension maximales non linéaires généralement observées auxquelles différents tissus peuvent être chargés en fonction de l'humidité relative de l'atmosphère. Les événements de tribochargement ne sont pas faciles à répéter et les valeurs de tension initiales diminuent généralement en raison de la dissipation de charge après la phase initiale de chargement. Par conséquent, les valeurs de tension maximales observées peuvent varier d'un cas à l'autre et dans le temps par nature, comme cela est indiqué dans les références [9] à [17]<sup>1</sup>.

Le matériel peut être soumis directement à des décharges dont les valeurs de tension atteignent plusieurs kilovolts dans un scénario d'utilisation type, et ce en fonction du type des matériaux utilisés et de l'humidité relative de l'atmosphère. Dans des conditions d'environnement où l'humidité relative est inférieure à 30 %, le matériel peut être soumis directement à des décharges dont les valeurs de tension atteignent plusieurs kilovolts.

Les décharges dans l'air au-dessus de 15 kV génèrent des étincelles sur une longue distance, mais le courant de décharge qui s'écoule vers l'EUT peut être limité en raison de la grande résistance à l'étincelle, et le temps de montée est plus lent (voir l'Article A.4 et l'Article A.8).

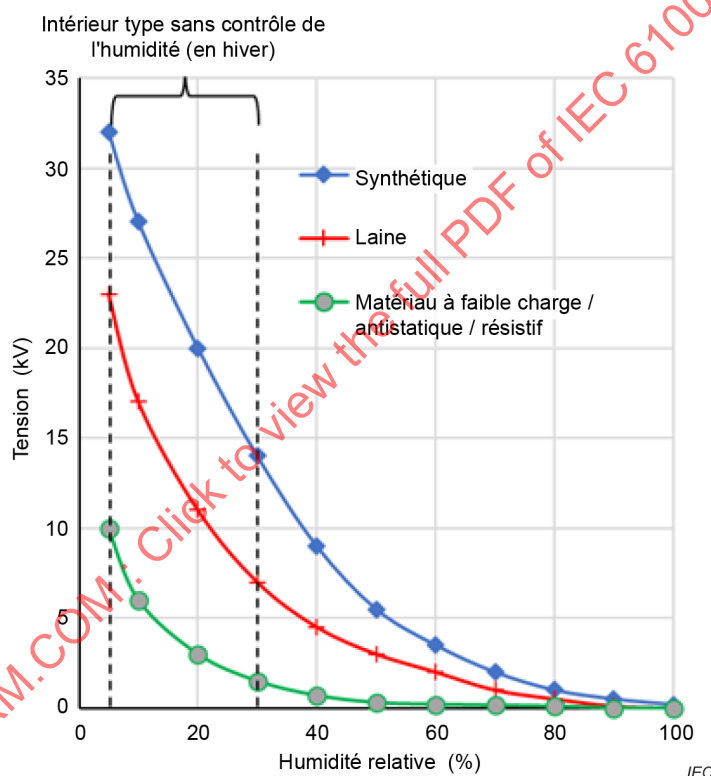


**Figure A.1 – Valeurs maximales types des tensions électrostatiques auxquelles les opérateurs et les matériaux peuvent être chargés lorsqu'ils fonctionnent dans différents environnements en dehors d'une zone de protection électrostatique**

<sup>1</sup> Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

### A.3 Phénomène de DES du corps humain chargé

En règle générale, la capacité entre la terre et le corps humain est de l'ordre de 100 pF, et la capacité est dominante à la surface de contact du pied avec la terre. Le corps humain est résistif, et toutes les parties du corps humain chargé sont des surfaces quasi équipotentielles. Lorsque la main humaine chargée s'approche d'un objet conducteur (matériels électroniques, par exemple) à un potentiel différent, une décharge se produit en raison d'un claquage diélectrique de l'air et un courant de décharge circule. En raison de la capacité parasite de quelques picofarads entre la main chargée et l'objet, un courant de décharge circule. Le chemin de décharge est une boucle de courant très courte et le temps de montée du courant de décharge est de l'ordre de 1 ns ou moins dans certains cas. À la suite de ce premier courant de décharge, un second courant de décharge dû au transfert d'une importante charge électrique de la capacité électrostatique de l'ensemble du corps humain se produit.

### A.4 Phénomène de décharge dans l'air

La loi de Paschen est connue comme la relation entre la tension de charge et la distance initiale à laquelle une décharge commence en raison du claquage diélectrique de l'air. Cette loi peut être adaptée dans des conditions statiques au moyen d'une grande tête sphérique dont les conditions de surface maintiennent un état stationnaire. Pour un corps humain chargé qui s'approche d'un autre corps, la distance de décharge est plus courte que la distance de décharge conformément à la loi de Paschen en raison du retard du déclenchement de l'étincelle. De plus, lorsqu'un objet est pointu ou présente une surface rugueuse, la distance de décharge est plus grande en raison de la densité de charge plus élevée, ce qui facilite le claquage de l'air. Si la surface du corps est recouverte d'un film d'huile, la décharge est difficile et la distance de décharge diminue. L'étincelle causée par le claquage diélectrique de l'air a une résistance à l'étincelle qui varie dans le temps en fonction de la distance de décharge, et sa valeur est représentative de la loi de résistance à l'étincelle de Rompe-Weizel.

$$r(t) = \frac{\delta}{\sqrt{\frac{2\alpha}{\rho} \int_{-\infty}^t i^2(t') dt'}}$$

où

$\alpha \cong 1,1 \times 10^{-4} \text{ atm m}^2 \text{ V}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (constante dans l'atmosphère);

$p$  est la pression atmosphérique (atm);

$\delta$  est la distance de décharge (m).

Cela signifie que la résistance à l'étincelle compromet de manière significative la première crête de la DES. Le courant de crête devient important et le temps de montée devient rapide si la distance de décharge est courte. À mesure que la distance de décharge augmente, le courant de crête diminue et le temps de montée diminue également, et par conséquent il n'existe pas de premier courant de crête.

À des tensions de décharge de plusieurs kilovolts ou moins, un courant de crête supérieur à la décharge au contact et un temps de montée rapide sont obtenus. À une tension de 5 kV à 8 kV ou plus, le temps de montée devient plus lent et le courant de crête diminue. Une étincelle grande et brillante se produit à des tensions supérieures, mais le courant de décharge et le temps de montée ne deviennent pas un phénomène sévère proportionnel à la tension appliquée.

## A.5 Variations de la décharge dans l'air

Les facteurs qui font varier le courant de décharge dans l'air incluent la tension de charge, la vitesse d'approche, la température, l'humidité, la pression atmosphérique, les formes et l'état de surface de la tête de décharge et la forme de l'EUT, qui ont une incidence sur la distance de décharge. En particulier, le courant de crête et le temps de montée de la première crête varient. En modifiant les conditions de ces facteurs, il est possible de contrôler le courant de décharge, mais il reste variable. Même si la variation est réduite en fonction de la condition, des variations imprévisibles se produisent également et il n'est pas possible de contrôler le courant de décharge avec une exactitude de quelques dizaines de pour cent.

## A.6 Température et humidité de la décharge dans l'air

Il est bien connu que la décharge dans l'air est compromise par l'humidité. L'humidité relative dépend de la température de l'air, et il convient également de prendre en compte la relation avec la quantité de vapeur d'eau dans l'air afin d'élucider les phénomènes de décharge. Des études récentes ont montré que l'humidité absolue (masse d'eau dans  $1 \text{ m}^3$ : unité  $\text{g/m}^3$ ) a également un effet. Plus la quantité de vapeur d'eau dans l'air est importante, plus il est facile de déclencher une décharge et plus la distance de décharge est importante. Par conséquent, un taux d'humidité élevé entraîne des courants de décharge plus faibles et des temps de montée plus lents en raison d'une résistance à l'étincelle plus élevée. Lors de la reproduction de l'essai de DES sévère dans lequel la première crête est rapide et importante, il est souhaitable de procéder à l'essai à une température ambiante inférieure ou égale à  $20^\circ\text{C}$  et avec une humidité relative inférieure ou égale à 30 % (humidité absolue inférieure ou égale à  $5 \text{ g/m}^3$ ).

Dans un environnement avec une température inférieure ou égale à  $15^\circ\text{C}$  et une humidité relative inférieure ou égale à 30 % (humidité absolue inférieure ou égale à  $4 \text{ g/m}^3$ ), la variation du courant de décharge tend à être faible, avec des premières crêtes rapides à 0,5 ns ou moins et des courants de crête de 100 A ou plus à des tensions d'essai supérieures telles que 15 kV observées.

## A.7 Pertinence de l'essai de décharge au contact

Le phénomène de DES causé par un corps humain chargé n'est qu'une décharge dans l'air. Toutefois, comme cela est décrit ci-dessus, il a été constaté qu'il n'est pas possible d'obtenir la reproductibilité de la décharge accompagnée du phénomène de claquage diélectrique de l'air, même si différentes conditions de l'environnement et du générateur de DES sont soigneusement maîtrisées. Dans la méthode de décharge au contact, la tête de décharge entre d'abord en contact avec l'EUT et une décharge de microécart stabilisée sur un contact mobile à vitesse élevée dans un gaz inerte à haute pression est générée dans le relais haute tension intégré dans le générateur de DES.

La première crête de la décharge au contact spécifiée dans le présent document est une proportion de 3,75 A/kV et correspond à un réglage d'un courant de décharge inférieur à plusieurs kilovolts pour la décharge dans l'air, mais supérieur à 5 kV, de sorte qu'il dépasse toujours le courant de décharge dans l'air. Pour la seconde crête, le courant de décharge dû au transfert de charge qui est à approximativement équivalent à celui de la décharge dans l'air et de la décharge au contact est obtenu.

Lorsque les conditions sont correctes pour la décharge dans l'air, un temps de montée du courant de décharge très rapide d'environ 0,3 ns est observé, mais la distance de décharge est très courte avec une faible tension de charge.

Étant donné que la décharge dans l'air qui est appliquée aux parties conductrices à l'intérieur d'une enceinte n'est éventuellement pas accessible comme cela est spécifié dans le présent document, un espace de décharge dans l'air entre la tête de décharge et l'objet interne est d'au moins 1 mm, de sorte qu'il n'y ait pas de temps de montée à grande vitesse. La décharge au contact se maintient à 0,8 ns à n'importe quelle tension appliquée, ce qui constitue une condition suffisamment sévère.

À basse tension, le courant de décharge de la première crête augmente le courant de décharge dans l'air, mais cela peut être corrigé en augmentant la tension appliquée. Dans des environnements normaux, une décharge au contact de 8 kV peut être appliquée à la place d'une décharge dans l'air de 15 kV, car la distance de décharge est longue et le courant de crête diminue en raison de la résistance à l'étincelle. Cependant, une décharge dans l'air de 15 kV dans de bonnes conditions d'environnement, telles qu'une faible humidité et des surfaces de tête de décharge propres, n'est parfois pas possible à contenir avec une décharge au contact de 8 kV.

## A.8 Choix des niveaux d'essais

Il convient de choisir les niveaux d'essais en fonction des conditions d'environnement et d'installation les plus réalistes des classes 1 à 4. Des lignes directrices sont données dans le Tableau A.1.

**Tableau A.1 – Lignes directrices pour le choix des niveaux d'essais de décharge dans l'air du corps humain**

| Classe | Humidité relative pouvant descendre jusqu'à<br>% | Matériaux antistatiques | Matériaux synthétiques | Tension maximale<br>kV |
|--------|--------------------------------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
| 1      | 35                                               | x                       |                        | 2                      |
| 2      | 10                                               | x                       |                        | 4                      |
| 3      | 50                                               |                         | x                      | 8                      |
| 4      | 10                                               |                         | x                      | 15                     |

Les niveaux d'essais décrits à l'Article 5 correspondent aux classes d'installation et d'environnement ci-dessus.

Il est important, lors du choix du niveau d'essai approprié pour un environnement particulier, de comprendre les paramètres importants du phénomène de DES.

Le paramètre le plus déterminant est probablement la vitesse de variation du courant de décharge, qui peut être obtenue à l'aide d'une variété de combinaisons de tensions de charge, de courants de décharge de crête et de temps de montée.

Par exemple, la contrainte de DES exigée pour l'environnement des matériaux synthétiques à 15 kV est couverte plus que largement par l'essai à 8 kV/30 A Classe 4 au moyen d'une décharge au contact avec le générateur de DES spécifié dans le présent document.

Cependant dans un environnement sec avec des matériaux synthétiques, des tensions supérieures à 15 kV se produisent.

Dans le cas d'un matériel d'essai avec des surfaces isolantes, la méthode de décharge dans l'air avec des tensions inférieures ou égales à 15 kV peut être utilisée.

## A.9 Choix des éléments pour le générateur de DES

Une capacité d'accumulation représentative de la capacité du corps humain doit être utilisée. Une valeur type de 150 pF a été déterminée comme étant adaptée à cet objet.

Une résistance de 330  $\Omega$  a été choisie pour représenter la résistance source d'un corps humain tenant un objet métallique tel qu'une clé ou un outil. Il a été montré que cette situation de décharge par l'intermédiaire d'un objet métallique était suffisamment sévère pour représenter toutes les décharges dues à un corps humain pouvant se produire sur site.

Les générateurs de DES et leurs câbles de retour du courant de décharge peuvent inclure de la ferrite.

## A.10 Justification liée à la spécification du générateur

Différentes raisons ont été avancées pour expliquer les différences de reproductibilité lors de l'application de l'essai de DES aux EUT réels. Le montage d'essai, les questions d'étalonnage, etc., ont été examinés et des propositions pour améliorer la reproductibilité des essais ont été introduites dans le présent document.

Les deux raisons techniques potentielles en ce qui concerne la spécification du générateur qui ont été présentées comme la cause des difficultés de reproductibilité sont:

- la forme de l'onde du courant de décharge du générateur après la première crête c'est-à-dire entre 2 ns et 60 ns;
- le champ H transitoire et le champ E transitoire rayonnés par le générateur lorsque la décharge électrostatique est appliquée à l'EUT.

Il a été estimé que les modifications introduites dans le présent document amélioreraient la reproductibilité des essais. D'autres études peuvent être proposées en vue des futures éditions du présent document afin d'estimer l'incidence du rayonnement du champ E sur la reproductibilité.

## A.11 Justification liée à la spécification de la forme d'onde

La spécification de la forme d'onde de courant de décharge de la décharge au contact spécifiée au 6.2.1 simule la forme d'onde de courant de décharge dans l'air d'un corps humain chargé. La première crête de la forme d'onde de courant de décharge du corps humain, qui est le phénomène non linéaire décrit ci-dessus, a été déterminée comme étant représentative de la plage des niveaux d'essais. En raison de l'utilisation d'un condensateur de stockage d'énergie de 150 pF, qui est supérieur à la capacité moyenne du corps humain, la seconde crête est supérieure au courant de décharge réel du corps humain. La courbe de référence du courant de décharge a été représentée par une forme d'onde idéale, créée en superposant la première crête et la seconde à l'aide de la formule à double exponentielle de Heidler.

## Annexe B (normative)

### Étalonnage du système de mesure du courant

#### B.1 Spécification de la cible de courant – impédance d'entrée

La cible coaxiale de courant utilisée pour mesurer le courant de décharge des générateurs de DES doit présenter une impédance d'entrée, mesurée entre l'électrode interne et le sol, inférieure ou égale à  $2,1 \, \Omega$  en courant continu.

NOTE 1 Il est admis par hypothèse que la cible mesure le courant de DES dans un plan de masse parfait. Pour réduire le plus possible l'erreur causée par la différence entre un plan parfaitement conducteur et l'impédance d'entrée de la cible, une limite de  $2,1 \, \Omega$  a été fixée pour l'impédance d'entrée. Cependant, si l'impédance d'entrée de la cible est trop faible, le signal de sortie est très faible, ce qui peut entraîner des erreurs dues au couplage vers les câbles et vers l'oscilloscope. De plus, si une valeur de résistance bien plus faible est utilisée, l'inductance parasite devient plus sévère.

NOTE 2 L'impédance d'entrée et l'impédance de transfert ( $Z_{\text{sys}}$ , Article B.3) peuvent être mesurées avec une exactitude élevée en courant continu ou à basse fréquence.

#### B.2 Spécification de la cible de courant – perte d'insertion

##### B.2.1 Chaîne de mesure

Au lieu de spécifier la perte d'insertion de la cible coaxiale de courant, la perte d'insertion de la chaîne de mesure qui comprend la cible, l'affaiblisseur et le câble est spécifiée. Cela simplifie la caractérisation du système de mesure, dans la mesure où il n'est nécessaire de caractériser que cette chaîne et l'oscilloscope au lieu de chaque élément séparément.

La variation de la perte d'insertion de la chaîne cible-affaiblisseur-câble ne doit pas dépasser:

$\pm 0,5 \, \text{dB}$ , jusqu'à  $1 \, \text{GHz}$ ;

$\pm 1,2 \, \text{dB}$ , de  $1 \, \text{GHz}$  à  $4 \, \text{GHz}$ .

Par rapport à la valeur nominale  $S_{21}$  de la perte d'insertion:

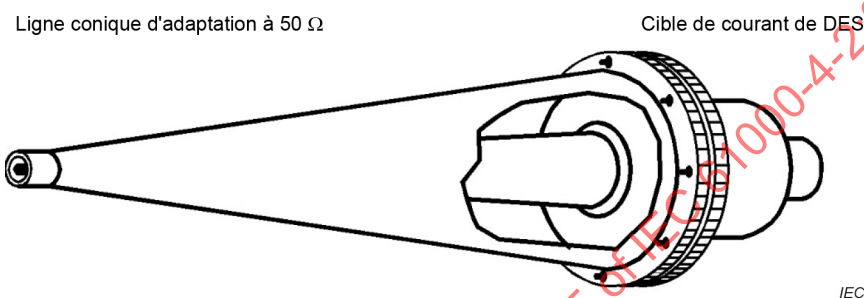
$S_{21} = 20 \log [2Z_{\text{sys}} / (R_{\text{in}} + 50 \, \Omega)] \, \text{dB}$ , où  $R_{\text{in}}$  est l'impédance d'entrée en courant continu de la chaîne cible-affaiblisseur-câble, avec une charge de  $50 \, \Omega$ .

NOTE Différentes durées d'étalonnage peuvent être utilisées pour l'impédance de transfert en courant continu et les mesurages de perte d'insertion les plus concernées. Si un mesurage d'impédance de transfert en courant continu répété montre un résultat qui diffère de la mesure initiale de moins de  $1 \, \%$ , l'utilisateur peut prendre pour hypothèse que la perte d'insertion de la chaîne cible-affaiblisseur-câble n'a pas varié, sous réserve que le même câble et le même affaiblisseur soient utilisés et qu'il n'y ait pas d'indications contraires (par exemple, connecteurs desserrés ou endommagés).

Il convient de toujours considérer la chaîne cible-affaiblisseur-câble comme une entité. Dès qu'un seul élément est échangé ou même en cas de démontage et de réassemblage, l'ensemble de la chaîne doit être réétalonné pour s'assurer de la conformité à la spécification.

### B.2.2 Ligne d'adaptation de la cible

La ligne d'adaptation de la cible représentée sur la Figure B.1 connecte un câble coaxial de  $50\ \Omega$  à l'entrée de la cible de courant de DES. Géométriquement, elle s'étend régulièrement du diamètre du câble coaxial vers le diamètre de la cible. Si la cible est faite de sorte que l'impédance calculée à partir du rapport du diamètre " $d$ " au diamètre " $D$ " (voir la Figure B.2) n'est pas égale à  $50\ \Omega$ , la ligne d'adaptation de la cible doit être réalisée de sorte que le diamètre extérieur de son conducteur intérieur soit égal au diamètre de l'électrode interne de la cible de courant. L'impédance doit être calculée à l'aide de la constante diélectrique du matériau qui remplit la ligne conique d'adaptation (habituellement de l'air). La ligne d'adaptation de la cible doit maintenir  $(50 \pm 1)\ \Omega$  dans les limites d'une largeur de bande de 4 GHz. L'affaiblissement de réflexion de deux lignes d'adaptation de la cible placées face à face doit être  $> 30\ \text{dB}$  jusqu'à 1 GHz et  $> 20\ \text{dB}$  jusqu'à 4 GHz, avec une perte d'insertion totale inférieure à 0,3 dB jusqu'à 4 GHz.



NOTE D'autres formes que la forme conique peuvent satisfaire aux spécifications de l'Annexe B.

**Figure B.1 – Exemple d'une ligne d'adaptation de la cible fixée à la cible de courant**

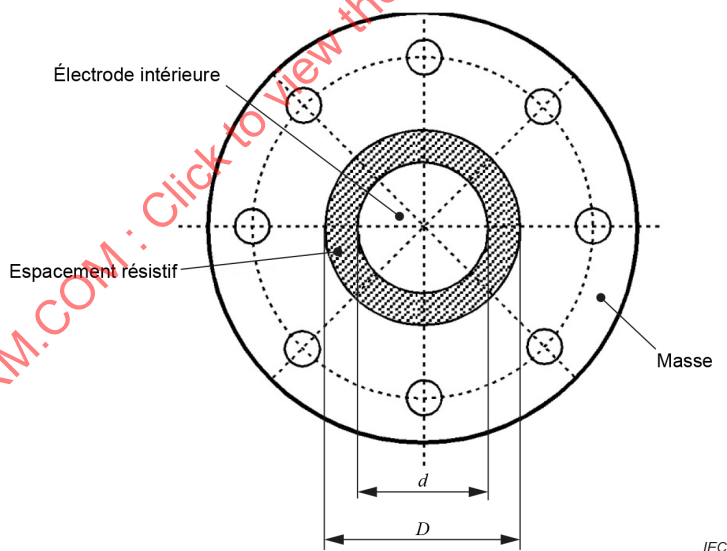


**Figure B.2 – Exemple de face avant d'une cible de courant**

### B.2.3 Détermination de la perte d'insertion d'une chaîne cible de courant-affaiblisseur-câble

La perte d'insertion de la chaîne est déterminée avec un analyseur de réseau vectoriel (VNA). D'autres systèmes peuvent aussi être utilisés pour mesurer la perte d'insertion d'amplitude sous réserve qu'une exactitude suffisante puisse être obtenue.

La procédure de mesure pour la perte d'insertion est la suivante:

- étalonner l'analyseur de réseau aux points d'étalonnage représentés sur la Figure B.3.

Si aucun analyseur de réseau n'est utilisé, il convient de modifier la procédure en conséquence;

NOTE 1 Au lieu du courant continu, la fréquence la plus faible disponible avec l'analyseur de réseau est utilisée. Les caractéristiques continues sont mesurées séparément.

NOTE 2 La stabilité du contact central des deux lignes d'adaptation ou de la ligne d'adaptation et de la cible est vérifiée par des mesures répétées, par une déconnexion et une reconnexion des dispositifs qui utilisent différents angles d'axe.

- connecter une ligne d'adaptation de la cible à une chaîne cible-affaiblisseur ( $\geq 20$  dB)-câble et l'insérer comme cela est représenté sur la Figure B.3;
- mesurer la perte d'insertion.

La variation de la perte d'insertion doit satisfaire aux exigences spécifiées à l'Article B.2.

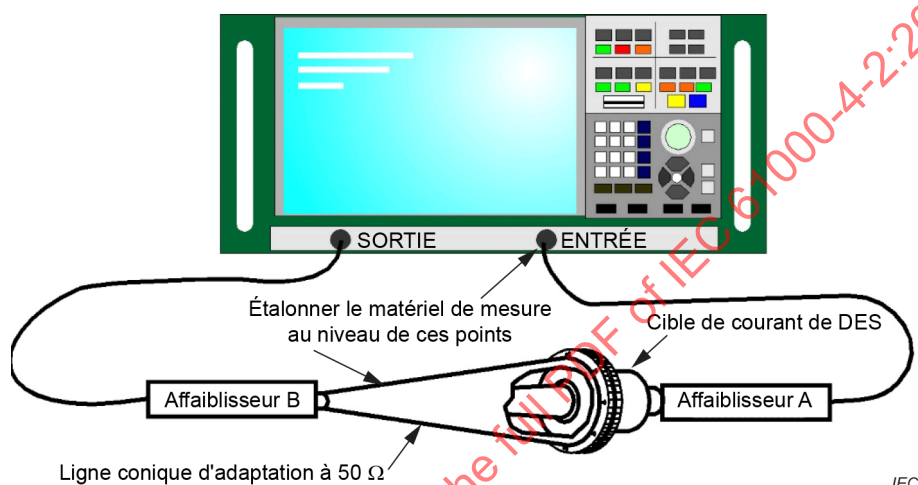


**Figure B.3 – Exemple de mesure de la perte d'insertion d'une chaîne cible de courant-affaiblisseur-câble**

### B.3 Détermination de l'impédance de transfert à basse fréquence d'une chaîne cible-affaiblisseur-câble

La Figure B.4 représente un schéma de circuit pour la chaîne cible-affaiblisseur-câble. L'impédance de transfert à basse fréquence d'une chaîne cible-affaiblisseur-câble est définie comme le rapport entre le courant injecté à l'entrée de la cible et la tension qui traverse une charge de précision de  $50 \Omega$  à la sortie du câble (c'est à dire qui est placée à l'extrémité du câble au lieu de l'oscilloscope).

Dans un mesurage de DES, un oscilloscope affiche une tension  $V_{osc}$  si un courant  $I_{sys}$  est injecté dans la cible. Pour calculer le courant inconnu de la tension affichée, la tension est divisée par une impédance de transfert de système à basse fréquence  $Z_{sys}$ .

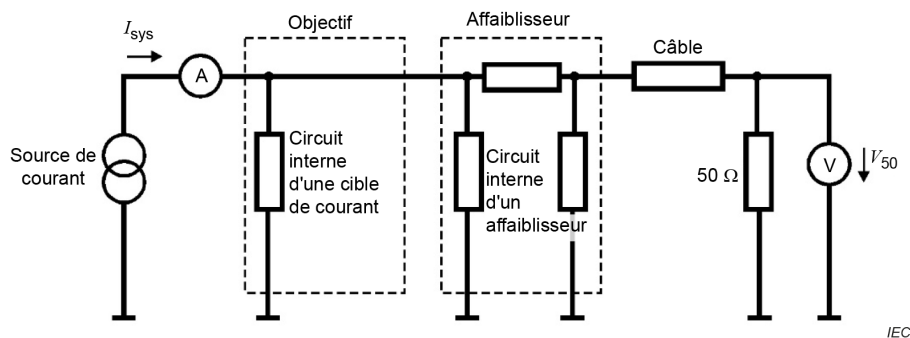


**Figure B.4 – Exemple de schéma de circuit pour déterminer l'impédance de transfert de système à basse fréquence**

L'impédance de transfert de système à basse fréquence de la chaîne cible-affaiblisseur-câble peut être déterminée comme suit:

- en injectant un courant  $I_{\text{sys}}$  d'environ 1 A dans la face avant de la cible de courant. La face avant est le côté sur lequel les décharges sont effectuées;
- en utilisant  $Z_{\text{sys}}$  qui est la grandeur clé pour l'étalonnage du générateur. La charge de 50 Ω doit avoir une tolérance maximale de  $\pm 1$  %;
- en mesurant la tension  $V_{50}$  à travers la charge de précision 50 Ω;
- en calculant l'impédance de transfert comme suit:

$$Z_{\text{sys}} = \frac{V_{50}}{I_{\text{sys}}}$$

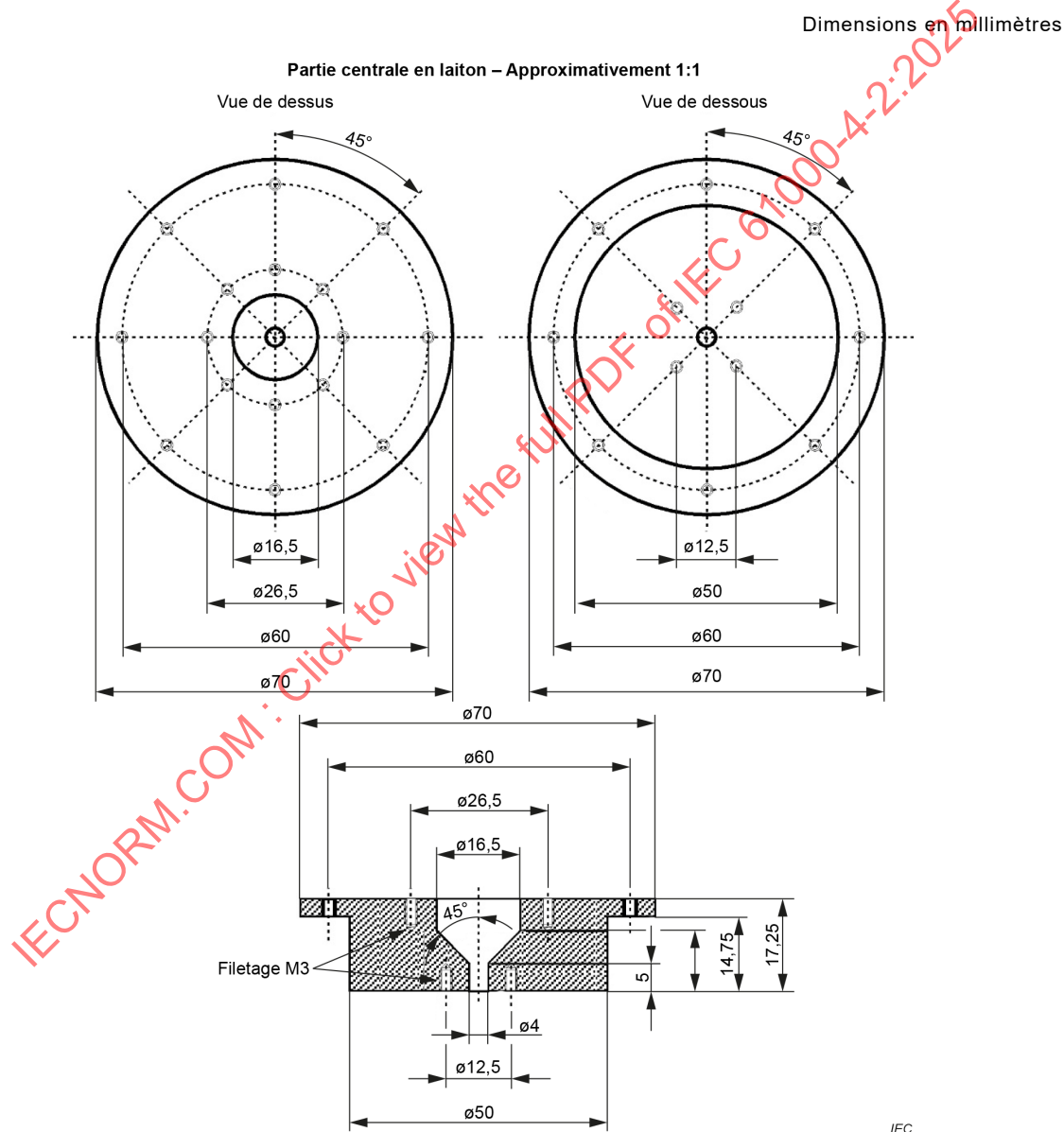
NOTE Pour vérifier que les tensions thermiques n'influencent pas les résultats, le mesurage peut être réalisé avec un courant positif et un courant négatif. Les deux résultats se situent à moins de 0,5 % l'un de l'autre.

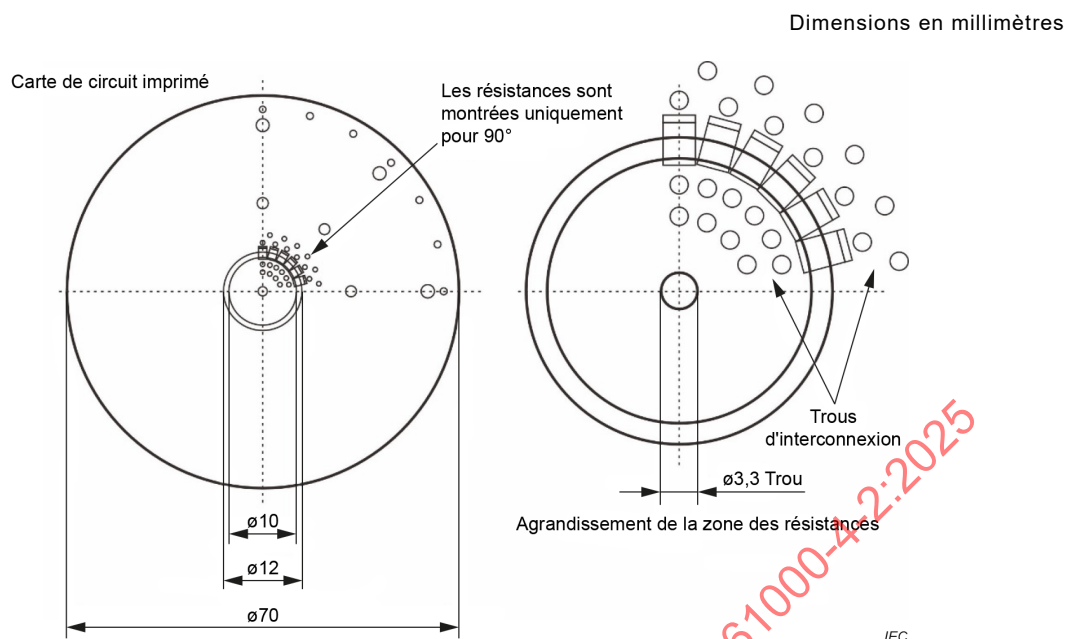
## Annexe C (informative)

### Exemple de cible d'étalonnage qui satisfait aux exigences de l'Annexe B

La Figure C.1 à la Figure C.5 décrivent la construction d'une cible qui satisfait aux exigences de l'Annexe B. Cette cible est conçue pour donner une perte d'insertion plate si 1 m de câble RG 400 est utilisé. Il est suggéré de connecter un affaiblisseur de 20 dB ou plus directement à l'accès de sortie de la cible pour éviter les réflexions multiples.

NOTE La Figure C.1 à la Figure C.5 sont des exemples; par conséquent, aucune tolérance n'est spécifiée.





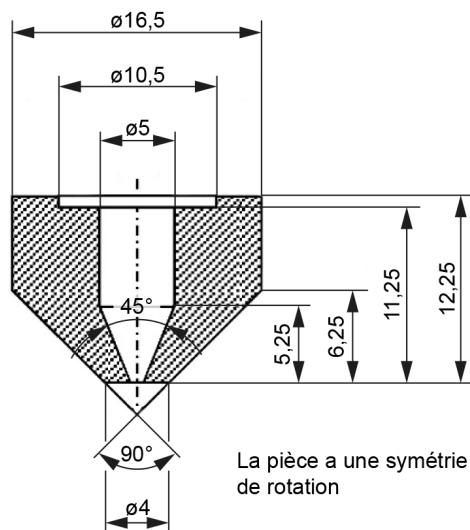
#### Légende

|                        |                                                                                                                                                                                      |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Taille des résistances | 0805                                                                                                                                                                                 |
| Valeur                 | 51 $\Omega$                                                                                                                                                                          |
| Placement              | en contact, exactement symétrique (utiliser un modèle)                                                                                                                               |
| Matériau               | 0,5 mm FR-4, plaqué or                                                                                                                                                               |
| Trous d'interconnexion | deux anneaux de trous d'interconnexion sur chaque côté des résistances plus un anneau près du bord extérieur de la carte de circuit imprimé. Environ 25 résistances sont nécessaires |

**Figure C.2 – Dessin mécanique d'une cible coaxiale qui représente la CCI et les résistances**

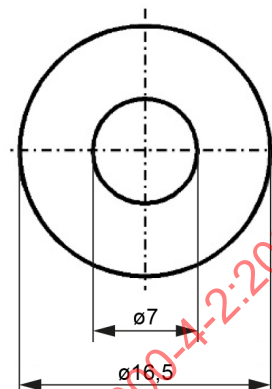
Dimensions en millimètres

## PTFE-partie I – Approximativement 2:1

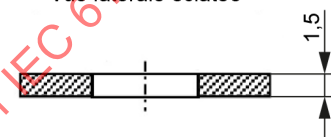
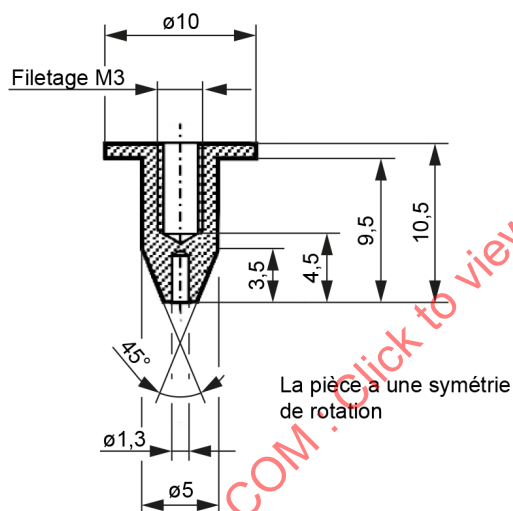


## PTFE-partie II – Approximativement 2:1

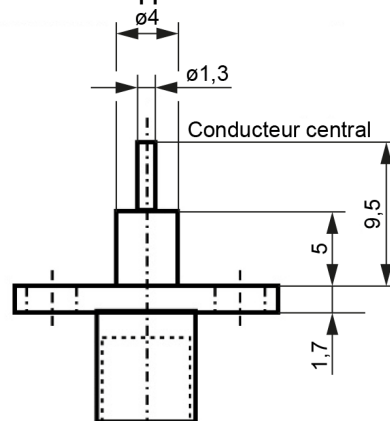
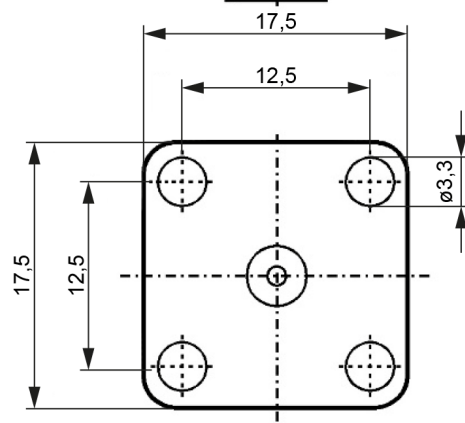
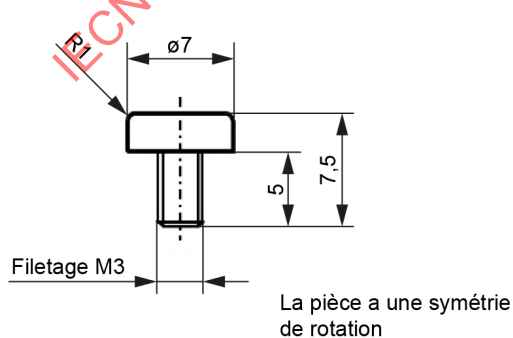
Vue de dessus



Vue latérale éclatée

Conducteur central en laiton –  
Approximativement 2:1

## SMA-connecteur – Approximativement 2:1

Partie supérieure du conducteur central  
Acier inoxydable – Approximativement 2:1

Un connecteur similaire de type N peut être utilisé en variante

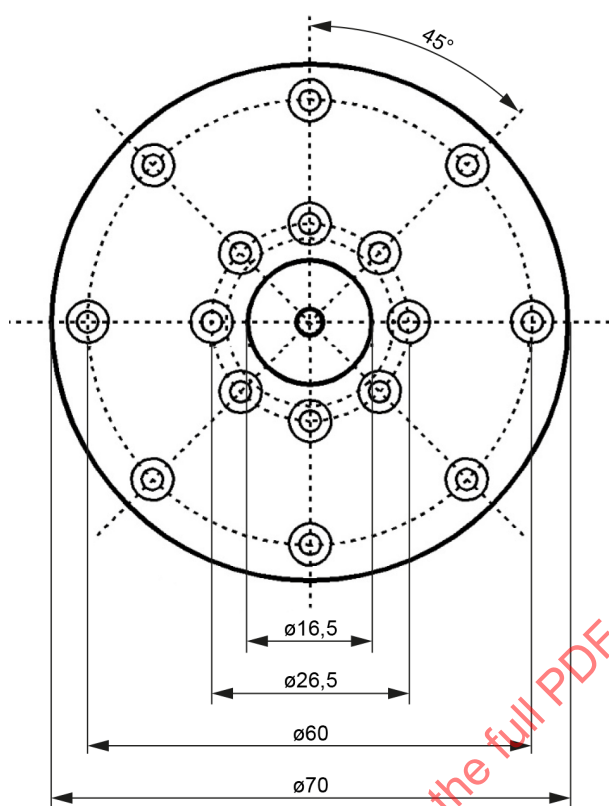
IEC

Figure C.3 – Dessin mécanique d'une cible coaxiale qui représente la partie en PTFE

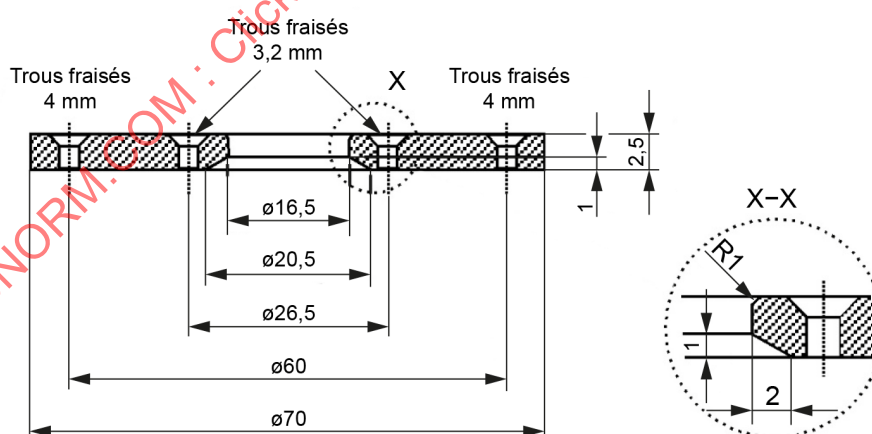
Dimensions en millimètres

Couvercle: acier inoxydable – Approximativement 1:1

Vue de dessus



Vue latérale éclatée



IEC

Figure C.4 – Dessin mécanique d'une cible coaxiale qui représente le couvercle

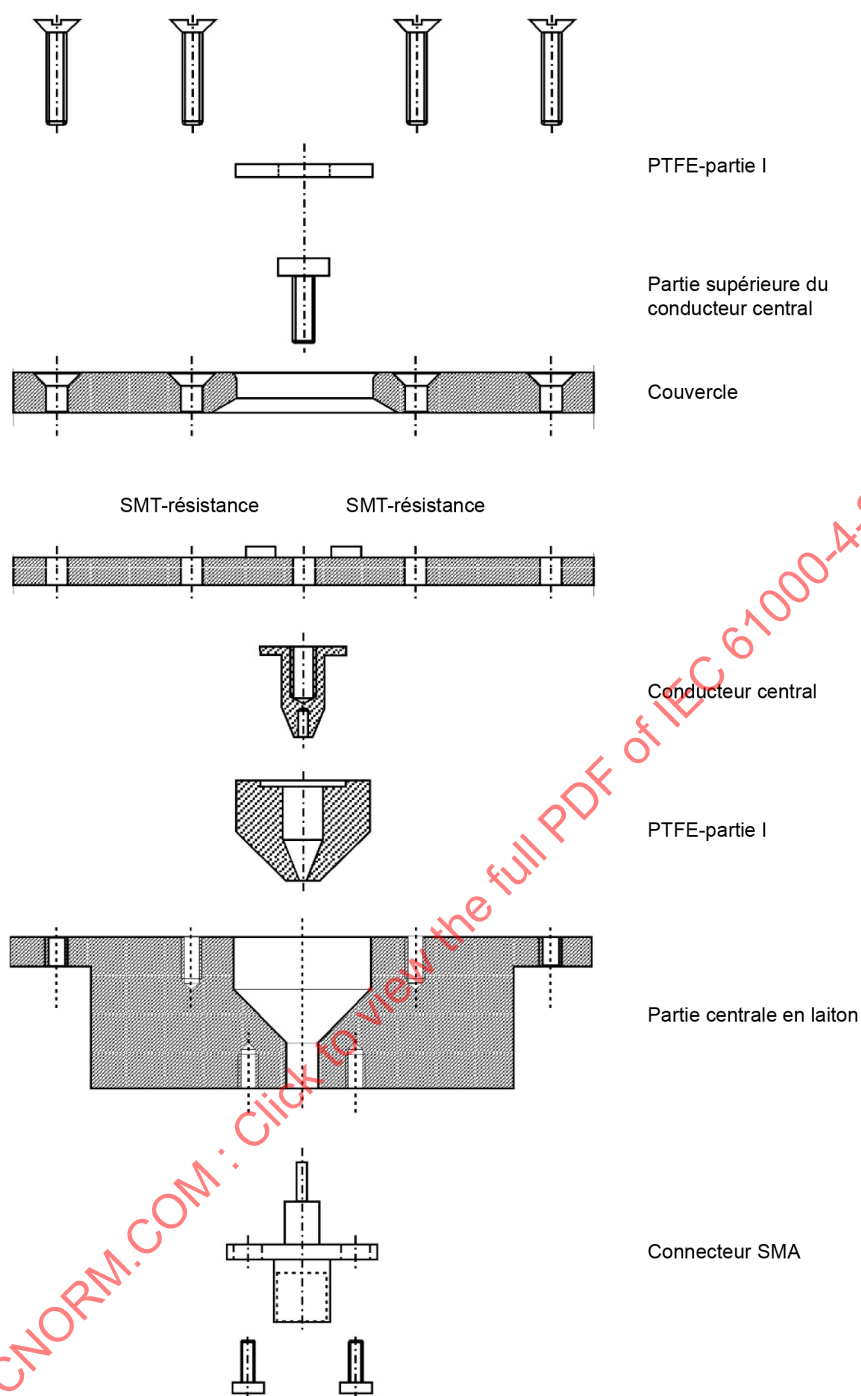


**Figure C.5 – Dessin mécanique d'une cible coaxiale qui représente l'assemblage mécanique**

## Annexe D (informative)

### Champs rayonnés par les décharges personne-métal et les générateurs de DES

#### D.1 Vue d'ensemble des processus qui causent des champs désirés et non désirés

##### D.1.1 Généralités

La décharge électrostatique d'un être humain (par l'intermédiaire d'une petite pièce de métal tenue à la main) est la base de la forme d'onde du courant spécifiée dans le présent document et dans les normes qui l'ont précédé. Cette décharge d'un être humain, ainsi que la décharge d'un générateur de DES, sont responsables de la production des champs électromagnétiques élevés associés.

Le D.1.2 reprend d'abord le processus de la décharge d'un être humain, puis le D.1.3 reprend processus dans le cas d'un générateur de DES.

##### D.1.2 DES d'un être humain

Pour un événement de DES d'une personne vers un EUT, il se produit la séquence d'événements suivante:

- a) lorsque la pièce de métal tenue à la main approche d'une surface métallique d'un EUT et avant la décharge de courant, un champ électrostatique existe. Il n'y a pas (ou seulement très peu) de courant qui passe et aucun champ magnétique correspondant n'est présent;
- b) dès lors que la décharge est initiée, entre la pièce de métal tenue à la main et l'EUT, le champ électrostatique s'effondre dans l'espace qui sépare les deux éléments. À partir de sa valeur initiale, il se réduit à une tension à travers l'espace d'environ 25 V à 40 V en 50 ps à 5 ns. La durée de chute dépend des paramètres d'étincelle, de tension, etc. La chute initiale du champ électrique est la première étape d'une série d'événements qui causent des champs électromagnétiques transitoires élevés;
- c) un courant commence à s'écouler sur la pièce de métal tenue par la personne et sur l'EUT. Le front de courant le plus en avant s'étend à la vitesse de la lumière et, en environ 0,8 ns, il atteint le bras de la personne. Comme le courant continue à s'étendre sur l'EUT et sur le bras, il connaît des réflexions et des pertes dues au rayonnement et à la résistance, ce qui conduit à une structure complexe de densité de courant à la fois sur l'EUT et sur la personne;
- d) comme le processus de décharge continue, les composantes de fréquence les plus élevées du courant sont rapidement affaiblies principalement en raison des rayonnements. Le courant devient alors plus lisse (c'est-à-dire avec moins de hautes fréquences) au fur et à mesure que le temps passe, puis le corps atteint un nouvel équilibre électrostatique avec l'EUT. La charge restante du corps peut ne peut pas être nulle dans la mesure où l'étincelle peut s'éteindre avant la décharge complète du corps. Si la main et l'objet en métal continuent de s'approcher de l'EUT, une seconde décharge peut apparaître à une tension inférieure, ce qui conduit à une séquence de plusieurs DES, chacune à une tension plus faible et chacune ayant un temps de montée plus rapide (attribué en partie à la tension plus faible);
- e) au cours de chaque séquence de décharges, un observateur situé en un point quelconque de la main, du corps ou de l'EUT, observe une densité de charge avant la décharge, au cours de la phase de décharge, un courant qui varie rapidement et, après la décharge, une charge restante faible;

- f) d'après la théorie des antennes, il est connu que les variations de densités de charge et de courant causent des champs rayonnés. À proximité immédiate, les champs sont dominés par le courant et la charge directement et à des distances plus importantes, le courant et la dérivée du temps de charge déterminent les champs. La région de transition entre les champs à proximité immédiate (champ proche) et les champs vus à une distance plus importante (champ lointain) est plus complexe. Les mesurages et les simulations ont montré que les champs transitoires de DES, au moins pour les premières nanosecondes les plus perturbatrices, atteignent les conditions de champ lointain à une distance de 10 cm de l'étincelle;
- g) à la lueur des éléments ci-dessus, il apparaît clairement que le courant et la dérivée du temps de charge sont très importants en ce qui concerne le dérèglement (erreur non destructive) des systèmes électroniques;
- h) noter que dans une décharge d'un être humain, les dérivées du courant et de la charge sont déterminées par la durée de chute de la tension dans l'étincelle. Ainsi le temps de montée du courant au niveau de la décharge détermine les composantes à haute fréquence.

À la lueur des éléments ci-dessus, il apparaît clairement que les champs transitoires d'une DES personne-métal constituent une partie importante du processus de DES. Un générateur de DES idéal les reproduirait d'une manière quantifiée. Les intensités de champ des DES personne-métal, etc., sont bien connues.

### D.1.3 Générateur de DES

L'étape suivante consiste à analyser et à comparer le processus qui se manifeste dans les générateurs de DES actuels. Comme la plupart des essais de DES sont réalisés en mode au contact, pour des raisons de reproductibilité, ce qui suit est limité aux générateurs de DES en mode au contact.

- a) La tête de décharge du générateur de DES est mise en contact avec une partie reliée à la terre (dans la plupart des cas) de l'EUT.
- b) Avant la décharge, un condensateur est chargé dans le générateur de DES. Dans de nombreuses conceptions, la majeure partie du champ électrostatique qui résulte du processus de charge est confinée dans le générateur de DES. Par conséquent, le champ électrostatique à proximité avant la décharge est très inférieur au champ électrostatique qui serait mesuré au même point dans le cas d'une personne chargée avec la même tension.
- c) La décharge est initiée par la fermeture d'un relais interne vers le générateur de DES. La conception de ces relais spéciaux permet une très bonne reproductibilité du courant de décharge, toutefois comme le relais est interne et n'est pas situé au point auquel le générateur de DES touche l'EUT, le déclenchement du flux du courant de décharge est assez différent de celui d'une décharge d'une personne.
- d) Les durées de chute de tension dans le relais sont très rapides, certainement inférieures à 100 ps, ce qui donne une onde de courant qui sort du relais dans toutes les directions et sur toutes les pièces de métal en contact et autres pièces de métal à proximité. L'onde de courant se propage à la vitesse de la lumière (à vitesse réduite dans les diélectriques). Le temps de montée de cette onde de courant est égal à la durée de chute de la tension.
- e) La durée de chute de la tension est inférieure à 100 ps, mais le présent document exige un temps de montée du courant de  $(0,8 \pm 0,2)$  ns mesuré au point de contact avec la cible. Pour obtenir ceci, des mesures sont conçues pour les générateurs de DES, qui augmentent le temps de montée de la très faible valeur dans le relais à des valeurs normalisées à la tête de décharge.
- f) Les champs transitoires sont causés par toutes les dérivées du temps de courant et les dérivées du temps de la densité de charge. Une différence importante entre la décharge d'un générateur et celle d'une personne avec du métal doit être notée: dans le cas de la décharge d'une personne, le temps de montée du courant au niveau de l'étincelle est le processus le plus rapide et il détermine le spectre des champs transitoires. Toutefois, avec un générateur de DES en mode au contact, le spectre à haute fréquence est déterminé par la chute de tension du relais, pas par le temps de montée du courant à la tête de décharge.

- g) Dans la mesure où les courants qui varient dans le générateur créent des champs transitoires, il y a une contribution des courants qui dans le relais montent en 100 ps aux champs transitoires d'un générateur de DES, ainsi qu'une contribution des courants qui montent en  $(0,8 \pm 0,2)$  ns au point de décharge. Les champs transitoires créés par les événements les plus rapides dans le générateur sont en général des champs transitoires non désirés, dans la mesure où ils augmentent la part haute fréquence de ces champs rayonnés au-delà de ceux développés à partir d'une décharge personne-métal équivalente, avec le même temps de montée et la même valeur de crête au point de décharge.

À la lueur des éléments ci-dessus, on peut constater que la force de la contribution des courants à montée rapide aux champs transitoires dépend beaucoup de la conception du générateur de DES. Cette contribution de champ pourrait très bien être supprimée ou elle pourrait dominer les champs transitoires dans tout générateur donné. Malheureusement, ces contributions ne sont pas définies dans le présent document, ce qui fait que les dérèglements au cours des essais de DES peuvent être fortement dépendants du générateur spécifique utilisé.

## D.2 Réactions de l'EUT aux essais de DES

Au cours d'un essai de DES, la réponse d'un EUT à une large plage de perturbations électriques est soumise à l'essai. Cette plage comprend: la tension pour claquage diélectrique, le claquage secondaire au niveau d'un espace éloigné du point d'injection, le courant pour la chute RI, le champ magnétique pour la chute en  $Ldi/dt$ , les champs magnétiques pour la tension induite et les champs électriques pour les tensions induites (les champs peuvent être à la fois en champs lointains et en champs proches). À cet égard, un essai de DES diffère d'un essai aux interférences électromagnétiques en ce qu'il combine plusieurs essais en un seul.

Quelques exemples de défaillances de l'EUT dues aux différentes perturbations de l'essai de DES sont les suivants:

- décharge dans la broche d'un connecteur causant des dommages à un CI;  
dans cet exemple, l'énergie dissipée dans le CI, le courant maximal ou la charge transférée par le CI, déterminent le plus vraisemblablement le seuil de dommage;
- décharge à travers un espace dans une enceinte plastique qui permet à une étincelle d'atteindre un CI;  
dans ce cas, l'essai de DES détermine l'intensité du claquage diélectrique de l'espace à travers le joint plastique;
- décharge sur un châssis causant le dérèglement du système contenu dans le châssis ;  
dans cet exemple, il est très vraisemblable que les champs transitoires de l'événement de DES couplés aux pistes, aux fils ou directement aux CI du système, créent des tensions ou des courants qui dérèglent la fonction logique du système.

Le mécanisme de couplage du courant à l'intérieur du générateur de DES vers les champs est dominé par la dérivée du temps de courant, même à des distances relativement modérées de 20 cm, par exemple. En outre, le couplage entre le champ et un fil, une piste ou un CI dans un EUT dépend de la vitesse de variation du champ électrique et du champ magnétique. Pour récapituler, les dérivées du temps impliquées à la fois dans la création du champ et dans le processus d'induction contribuent au courant injecté, ce qui conduit à différentes formes d'impulsions pour le courant au niveau de la tête de décharge et à différentes tensions induites dans les pistes dues aux champs. Les tensions induites dans les pistes ont habituellement une largeur bien plus étroite que le courant de décharge de DES initial spécifié dans le présent document, et elles peuvent présenter des résonances.

Compte tenu de la dépendance des champs transitoires vis-à-vis de la conception du générateur de DES spécifique (en particulier les composantes de champs avec de l'énergie à des fréquences supérieures à 300 MHz), il est prévu que les courants induits sur une piste, un fil ou dans un CI soient fortement compromises par la conception spécifique du générateur de DES. Cela pourrait conduire à une variation importante des résultats d'essai (dans la plupart des cas, dérèglement du système, pas destruction), si le même EUT est soumis aux essais avec différents générateurs de DES et si le fabricant du générateur de DES n'a pas pris de précautions pour réduire le plus possible la partie non désirée des champs électromagnétiques causés par la chute rapide de tension à l'intérieur du relais. Noter que ces différences dans les résultats d'essai ne sont observées que si l'EUT est sensible aux champs à haute fréquence, essentiellement > 1 GHz.

### D.3 Champs transitoires de l'événement de DES de référence

Des champs transitoires de DES personne-métal ayant des temps de montée d'environ 850 ps à une tension de charge de 5 kV ont été mesurés. Il convient qu'un générateur de DES idéal reproduise ces champs pour les essais en mode au contact à 5 kV. Pour obtenir les données, des capteurs de champs à large bande ( $\pm 1$  dB entre 1,5 MHz et 1,5 GHz) ont été placés sur le plan de référence vertical à une distance de 0,1 m du point de décharge, c'est-à-dire l'emplacement de la cible.

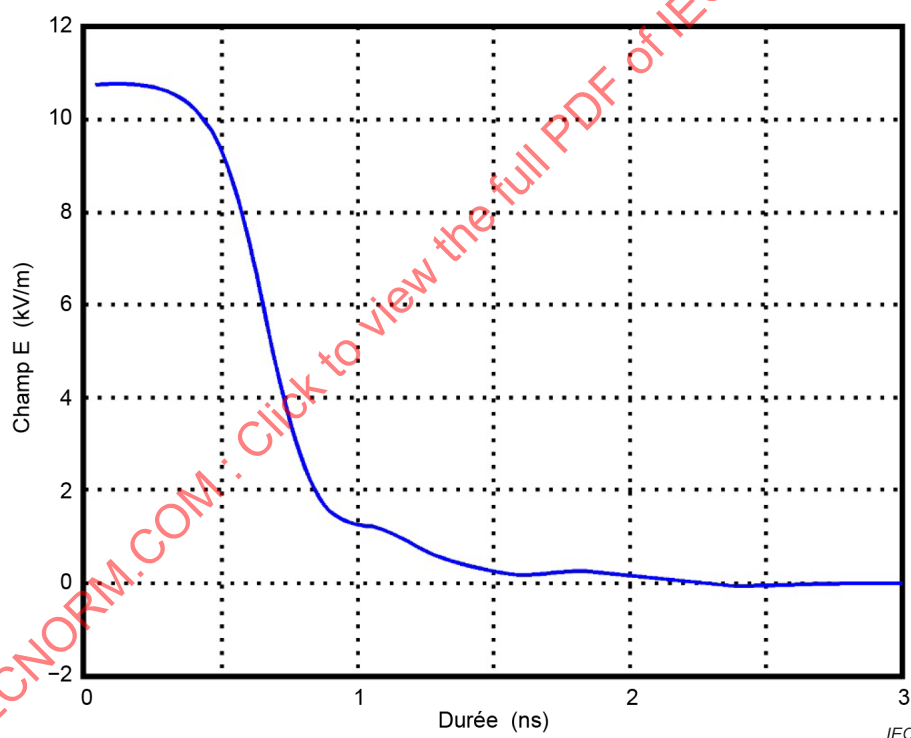


**Figure D.1 – Champ électrique d'une personne réelle tenant une pièce métallique, chargée à 5 kV, mesuré à une distance de 0,1 m et pour une longueur d'étincelle de 0,7 mm**

Le champ électrostatique domine le champ électrique. Le champ diminue de la valeur électrostatique à 20 % de sa valeur initiale en un temps de descente qui est similaire au temps de montée du courant (voir la Figure D.1).

La Figure D.2 représente un exemple de champ magnétique fondé sur un courant de décharge avec un temps de montée de 500 ps.

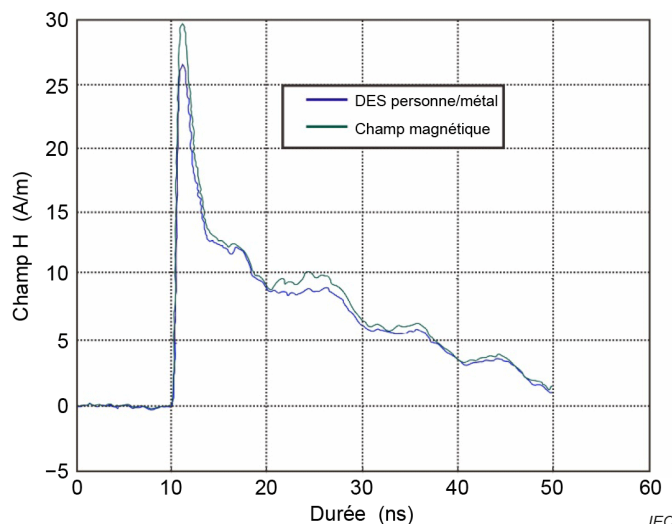


**Figure D.2 – Champ magnétique d'une personne réelle tenant une pièce métallique, chargée à 5 kV, mesuré à une distance de 0,1 m et pour une longueur d'étincelle d'environ 0,5 mm**

La forme d'onde du champ magnétique suit la forme d'onde du courant.

Un problème possible dans les formes d'ondes de champ des générateurs de DES est celui des résonances. Les valeurs de champs des générateurs de DES peuvent être très inférieures ou très supérieures aux formes d'ondes de champs personne/métal en fonction de l'angle avec lequel le générateur de DES et le câble de retour du courant de décharge sont orientés vers le capteur de champ.

#### D.4 Tension induite dans une petite boucle

Les champs transitoires de la DES induisent des tensions dans les pistes sur les cartes de CI. Si une petite boucle est placée sur un plan de masse, une mesure du contenu haute fréquence des champs transitoires peut être déduite d'une manière qui n'exige pas des capteurs de champs à large bande étalonnés et qui reflète le processus d'induction dans une piste plus directement que la mesure de champ. Le montage d'essai est représenté sur la Figure D.3.

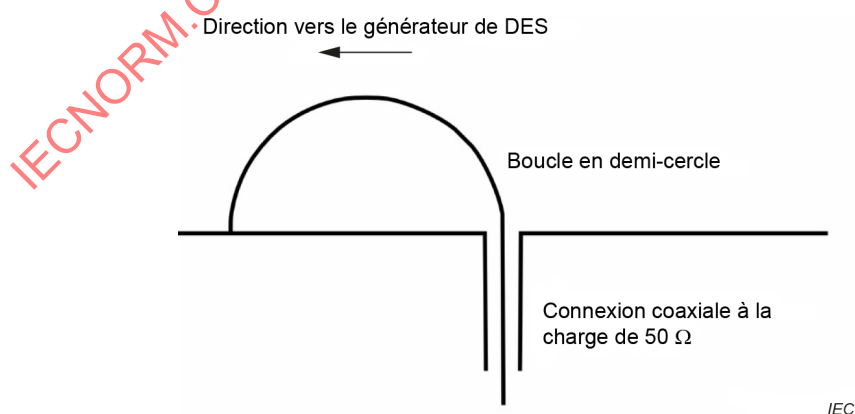


**Figure D.3 – Boucle en demi-cercle sur le plan de masse**

Sur la Figure D.3, le rayon de la boucle est de 14 mm. Le diamètre du fil est de 0,7 mm. La boucle est placée à une distance de 0,1 m du générateur de DES.