

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60749-27

Première édition
First edition
2003-10

**Dispositifs à semiconducteurs –
Méthodes d'essais mécaniques
et climatiques –**

**Partie 27:
Essai de sensibilité aux décharges
électrostatiques (DES) –
Modèle de machine (MM)**

**Semiconductor devices –
Mechanical and climatic test methods –**

**Part 27:
Electrostatic discharge (ESD) sensitivity
testing –
Machine model (MM)**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60749-27:2003

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions consolidées

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

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique. Des renseignements relatifs à cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- Site web de la CEI (www.iec.ch)
- Catalogue des publications de la CEI

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut.htm) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- IEC Just Published

Ce résumé des dernières publications parues (http://www.iec.ch/online_news/justpub/jp_entry.htm) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- Service clients

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Further information on IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology. Information relating to this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- IEC Web Site (www.iec.ch)
- Catalogue of IEC publications

The on-line catalogue on the IEC web site (http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut.htm) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- IEC Just Published

This summary of recently issued publications (http://www.iec.ch/online_news/justpub/jp_entry.htm) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- Customer Service Centre

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: custserv@iec.ch
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60749-27

Première édition
First edition
2003-10

**Dispositifs à semiconducteurs –
Méthodes d'essais mécaniques
et climatiques –**

**Partie 27:
Essai de sensibilité aux décharges
électrostatiques (DES) –
Modèle de machine (MM)**

**Semiconductor devices –
Mechanical and climatic test methods –**

**Part 27:
Electrostatic discharge (ESD) sensitivity
testing –
Machine model (MM)**

© IEC 2003 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembe, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

M

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	8
1 Domaine d'application et objet	10
2 Références normatives	10
3 Appareillage	10
3.1 Simulateur d'impulsions DES et support du dispositif en essai (DUT)	10
3.2 Oscilloscope	12
3.3 Sonde de courant	12
3.4 Charges d'évaluation	12
4 Qualification, étalonnage et vérification de la forme d'onde	16
4.1 Qualification de l'équipement	16
4.2 Broche du cas le plus défavorable ou carte de qualification standard	18
4.2.1 Broche du cas le plus défavorable	18
4.2.2 Carte de qualification standard	20
4.3 Vérification de la forme d'onde	20
5 Procédure de classification	22
6 Critères de défaillance	24
7 Critères de classification	24
8 Sommaire	24
Figure 1 – Circuit type équivalent DES MM	12
Figure 2 – Forme d'onde de courant à travers un fil de court-circuitage	14
Figure 3 – Forme d'onde de courant à travers une résistance 500 Ω , décharge 400 V	16
Tableau 1 – Spécification de la forme d'onde	18
Tableau 2 – Combinaisons de broches pour circuits intégrés	22

CONTENTS

FOREWORD	5
INTRODUCTION	9
1 Scope and object	11
2 Normative references	11
3 Apparatus	11
3.1 ESD pulse simulator and DUT socket	11
3.2 Oscilloscope	13
3.3 Current probe	13
3.4 Evaluation loads	13
4 Qualification, calibration, and waveform verification	17
4.1 Equipment qualification	17
4.2 Worst-case pin or standard qualification board	19
4.3 Waveform verification	21
5 Classification procedure	23
6 Failure criteria	25
7 Classification criteria	25
8 Summary	25
Figure 1 – Typical equivalent MM ESD circuit	13
Figure 2 – Current waveform through a shorting wire	15
Figure 3 – Current waveform through a 500 Ω resistor, 400 V discharge	17
Table 1 – Waveform specification	19
Table 2 – Pin combinations for integrated circuits	23

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – MÉTHODES D'ESSAIS MÉCANIQUES ET CLIMATIQUES –

Partie 27: Essai de sensibilité aux décharges électrostatiques (DES) – Modèle de machine (MM)

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 60749-27 a été établie par le comité d'études 47 de la CEI: Dispositifs à semiconducteurs.

La présente norme annule et remplace l'IEC/PAS 62180 publiée en 2000. Cette première édition constitue une révision technique.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
47/1704/FDIS	47/1718/RVD

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SEMICONDUCTOR DEVICES – MECHANICAL AND CLIMATIC TEST METHODS –

Part 27: Electrostatic discharge (ESD) sensitivity testing – Machine model (MM)

FOREWORD

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

International Standard IEC 60749-27 has been prepared by IEC technical committee 47: Semiconductor devices.

This standard cancels and replaces IEC/PAS 62180 published in 2000. This first edition constitutes a technical revision.

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

FDIS	Report on voting
47/1704/FDIS	47/1718/RVD

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

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

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2007.
A cette date, la publication sera

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

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60749-27:2003

Withdrawn

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

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2007. At this date, the publication will be

- reconfirmed;
- withdrawn;
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60749-27:2003

Withdrawn

INTRODUCTION

Le CE 47 a pris en compte les instructions du Standardization Management Board de la CEI en ce qui concerne l'étude des apports provenant des documents du CE 101. Le CE 47 est d'accord d'entreprendre, dans le cadre du Groupe de Travail Joint CE 47/CE 101, la prochaine révision des publications CEI 60749-26 et CEI 60749-27, traitant des modèles du corps humain et de machine, en tenant compte des contributions fondées sur les publications correspondantes de CE 101: CEI 61340-3-1 et CEI 61340-3-2.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60749-27:2003

Withdr2W

INTRODUCTION

TC 47 recognised the direction of the IEC SMB in terms of considering the inputs in the TC 101 documents. TC 47 agrees to proceed with the future revision of publications IEC 60749-26 and IEC 60749-27 concerning human body and machine models, with the JWC of TC 47/TC 101, which will incorporate the TC 101 input, based on corresponding TC 101 publications IEC 61340-3-1 and IEC 61340-3-2.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60749-27:2003

Withd 2003

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – MÉTHODES D'ESSAIS MÉCANIQUES ET CLIMATIQUES –

Partie 27: Essai de sensibilité aux décharges électrostatiques (DES) – Modèle de machine (MM)

1 Domaine d'application et objet

La présente partie de la CEI 60749 établit une procédure normalisée pour les essais et la classification des dispositifs à semiconducteurs en fonction de leur sensibilité aux dommages ou à la dégradation du fait de leur exposition à une décharge électrostatique (DES) sur un modèle de machine défini. Elle peut être utilisée comme une méthode d'essai en variante à la méthode d'essai DES sur le modèle du corps humain. Le but de cette norme est de fournir des résultats d'essai DES fiables et reproductibles de manière à ce que des classifications précises puissent être réalisées.

L'essai DES doit être choisi entre la présente méthode d'essai et celle du modèle du corps humain (HBM, voir CEI 60749-26). Les méthodes d'essai MM et HBM donnent des résultats similaires mais pas identiques. Sauf spécification contraire, la méthode d'essai HBM doit être choisie.

Cette méthode d'essai est applicable à tous les dispositifs à semiconducteurs et elle est classée destructive.

NOTE Cette méthode d'essai ne simule pas vraiment les décharges de machines réelles ou d'outils métalliques parce que cette méthode utilise une inductance parasite forte, alors que les machines réelles ou les outils métalliques, dont le temps de montée de décharge est approximativement 100 ps, n'ont pas d'inductance.

2 Références normatives

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

CEI 60749-26: *Dispositifs à semiconducteurs – Méthodes d'essais mécaniques et climatiques – Partie 26: Essai de sensibilité aux décharges électrostatiques (DES) – Modèle du corps humain (HBM)*

3 Appareillage

Cette méthode d'essai nécessite l'équipement suivant.

3.1 Simulateur d'impulsions DES et support du dispositif en essai (DUT)

Un simulateur d'impulsions DES et un support de dispositif en essai (DUT) équivalent au circuit de la Figure 1. Il faut que le simulateur soit capable de fournir des impulsions avec les caractéristiques exigées par la Figure 2 et la Figure 3.

SEMICONDUCTOR DEVICES – MECHANICAL AND CLIMATIC TEST METHODS –

Part 27: Electrostatic discharge (ESD) sensitivity testing – Machine model (MM)

1 Scope and object

This part of IEC 60749 establishes a standard procedure for testing and classifying semiconductor devices according to their susceptibility to damage or degradation by exposure to a defined machine model (MM) electrostatic discharge (ESD). It may be used as an alternative test method to the human body model ESD test method. The objective is to provide reliable, repeatable ESD test results so that accurate classifications can be performed.

ESD testing shall be selected from this test method or the human body model (HBM; see IEC 60749-26). The MM and HBM test methods produce similar but not identical results. Unless otherwise specified, the HBM test method shall be selected.

This test method is applicable to all semiconductor devices and is classified as destructive.

NOTE This test method does not truly simulate discharge from real machines or metallic tools because the test method uses high parasitic inductance of test circuit, whereas real machines and metallic tools, whose discharge rise time is approximately 100 ps, have no inductance.

2 Normative references

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

IEC 60749-26: *Semiconductor devices – Mechanical and climatic test methods – Part 26: Electrostatic discharge (ESD) sensitivity testing – Human body model (HBM)*

3 Apparatus

This test method requires the following equipment.

3.1 ESD pulse simulator and DUT socket

An ESD pulse simulator and a device under test (DUT) socket equivalent to the circuit of Figure 1. The simulator must be capable of supplying pulses with the characteristics required by Figure 2 and Figure 3.

3.2 Oscilloscope

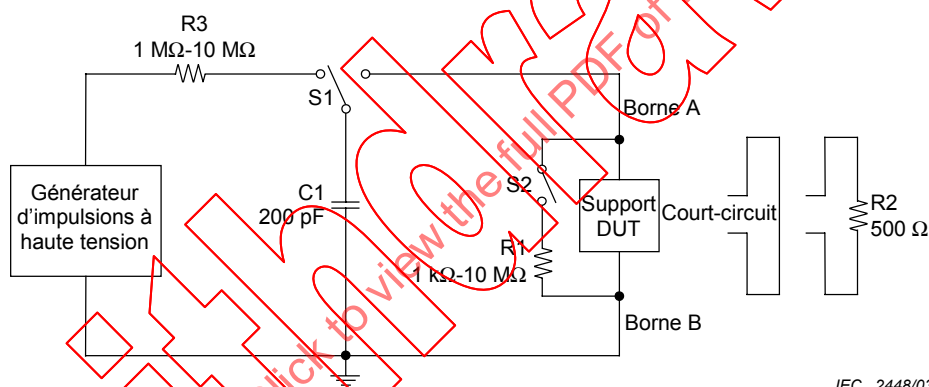
La combinaison oscilloscope et amplificateur doit avoir une largeur de bande non récurrente minimale de 350 MHz et une vitesse d'écriture visuelle de 4 cm/ns au minimum.

3.3 Sonde de courant

Une sonde de courant (transformateur et câble d'une longueur nominale de 1 m) avec une largeur de bande de 1 GHz et des caractéristiques de courant de 12 A de courant d'impulsion maximale est recommandée.

3.4 Charges d'évaluation

Un fil en cuivre étamé de diamètre approximatif de 1 mm est recommandé pour l'essai de vérification de la forme d'onde courte. Il convient que la longueur de fil soit aussi courte que possible en pratique pour couvrir la distance entre les deux broches les plus éloignées dans le socle en passant par la sonde de courant. Les extrémités du fil peuvent être mises à la terre en un point où un espace est nécessaire pour réaliser le contact sur des broches de socle à pas fins. Une résistance à faible inductance de 500 Ω avec une tolérance de $\pm 1\%$, 1 000 V, doit être utilisée pour la vérification initiale et le ré-étalonnage périodique du système.



Les performances de tout simulateur sont influencées par sa capacitance et son inductance parasites.

Il faut prendre des précautions dans la conception du testeur pour éviter les transitoires de recharge et les impulsions multiples.

R2, utilisé pour la qualification initiale de l'équipement et pour la requalification comme spécifié en 4.1, doit être une résistance à faible inductance, 1 000 V, 500 Ω avec une tolérance de $\pm 1\%$.

La superposition d'adaptateurs de socles DUT (montage sur boîtier) est seulement autorisée si les formes d'ondes peuvent être vérifiées quant à leur conformité avec le Tableau 1.

L'inversion des bornes A et B pour obtenir une double polarité n'est pas autorisée.

Il convient que S2 soit fermé au moins de 10 ms à 100 ms après la période d'impulsions pour s'assurer que le socle DUT n'est pas laissé dans un état chargé.

C1, 200 pF avec une tolérance de $\pm 10\%$.

Afin de limiter le courant de charge pour des raisons de sécurité, il est recommandé qu'une résistance R3 d'une valeur de 1 M Ω à 10 M Ω soit ajoutée au circuit entre le générateur d'impulsion à haute tension et le commutateur S1.

Il convient que l'inductance parasite de la ligne de transmission du courant de décharge soit de l'ordre de 750 nH.

Figure 1 – Circuit type équivalent DES MM

3.2 Oscilloscope

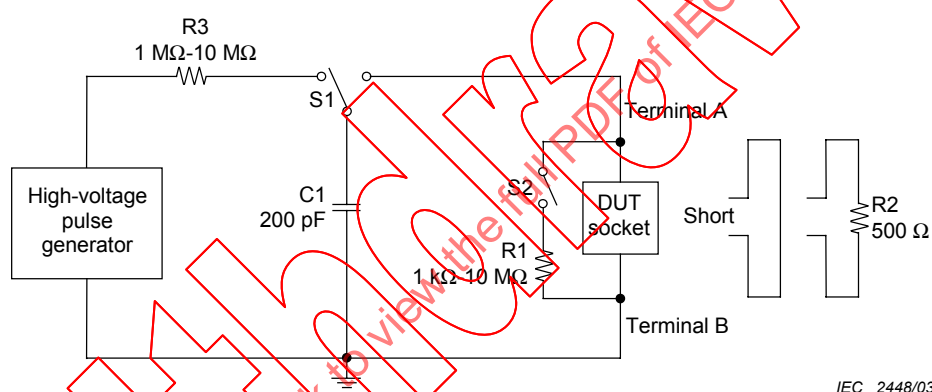
The oscilloscope and amplifier combination shall have a 350 MHz minimum single-shot bandwidth and a visual writing speed of 4 cm/ns minimum.

3.3 Current probe

A current probe (transformer and cable with a nominal length of 1 m) with a 1 GHz bandwidth and a current rating of 12 A maximum pulse-current is recommended.

3.4 Evaluation loads

A tinned copper wire of diameter approximately 1 mm is recommended for the short waveform verification test. The lead length should be as short as practicable to span the distance between the two farthest pins in the socket while passing through the current probe. The ends of the wire may be ground to a point where clearance is needed to make contact on fine pitch socket pins. A 500 Ω with a tolerance of $\pm 1\%$, 1 000 V, low inductance resistor shall be used for initial system checkout and periodic system recalibration.



The performance of any simulator is influenced by its parasitic capacitance and inductance.

Precautions must be taken in tester design to avoid recharge transients and multiple pulses.

R2, used for initial equipment qualification and re-qualification as specified in 4.1, shall be a low inductance, 1000 V, 500 Ω resistor with $\pm 1\%$ tolerance.

Stacking of DUT socket adaptors (piggybacking) is allowed only if the waveforms can be verified to meet the specifications in Table 1.

Reversal of terminal A and B to achieve dual polarity is not permitted.

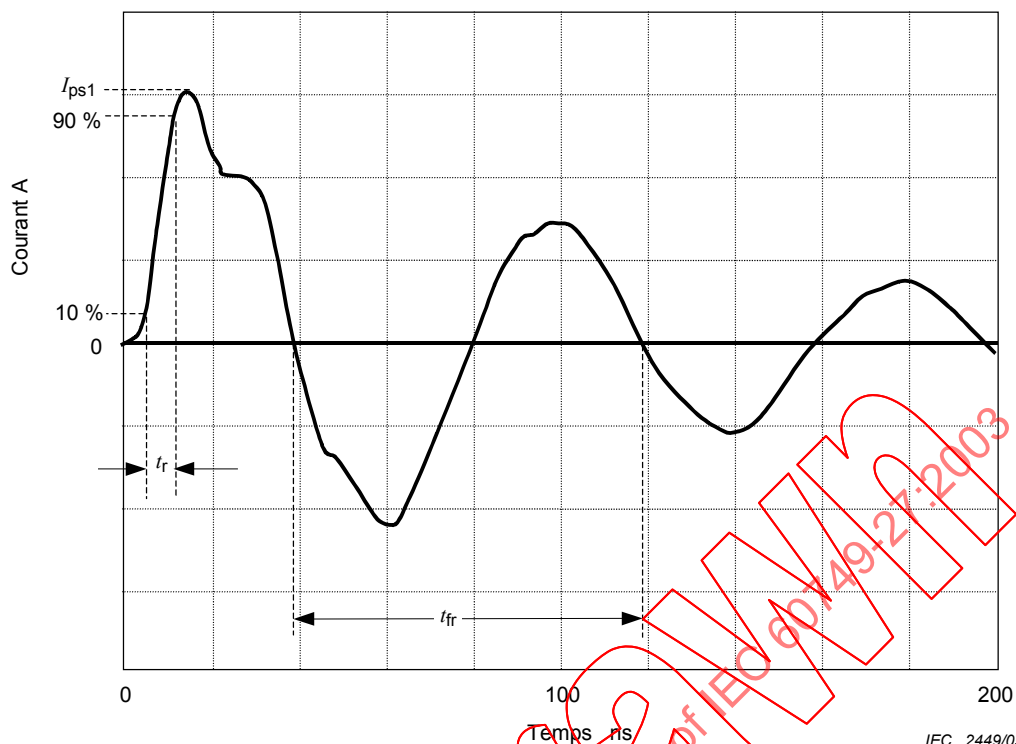
S2 should be closed 10 ms to 100 ms after the pulse delivery period to ensure DUT socket is not left in a charged state.

C1, 200 pF with a tolerance of $\pm 10\%$.

In order to limit charge current for safety purposes, it is recommended that a resistor R3 of value 1 M Ω to 10 M Ω is added to the circuit between the high voltage pulse generator and the switch S1.

Parasitic inductance of the discharge current transmission line of the test circuit should be approximately 750 nH.

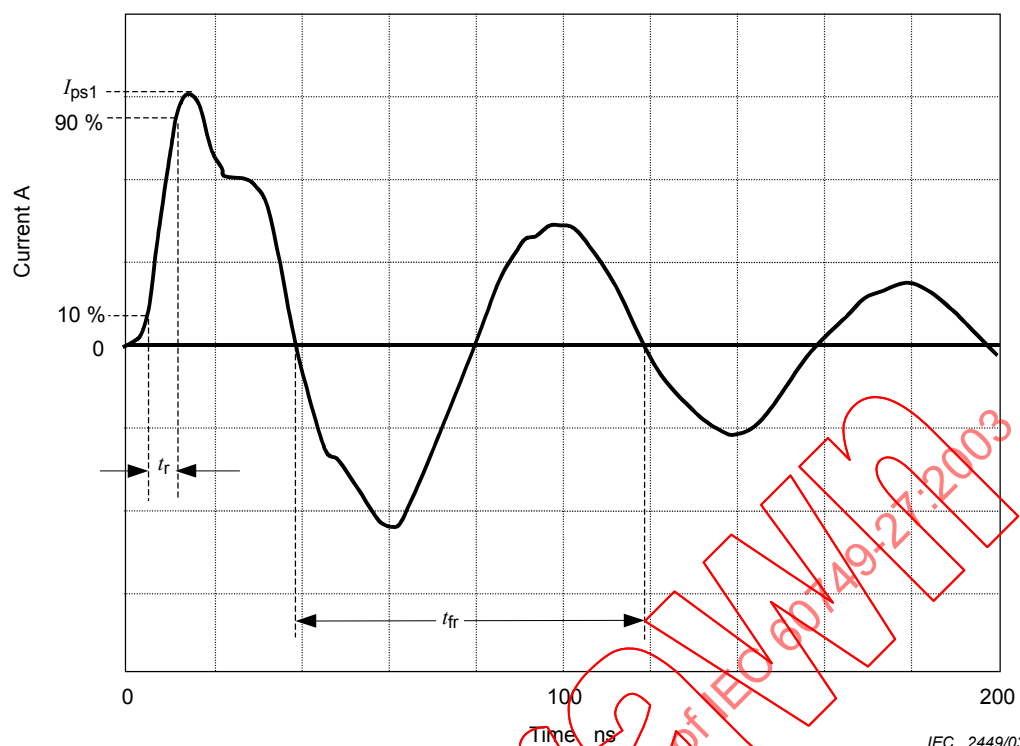
Figure 1 – Typical equivalent MM ESD circuit



Légende

- I_{psl} $I_{crête}$ positif pour court-circuit
 t_{fr} période de la fréquence de résonance
 t_r temps de montée d'impulsion

Figure 2 – Forme d'onde de courant à travers un fil de court-circuitage

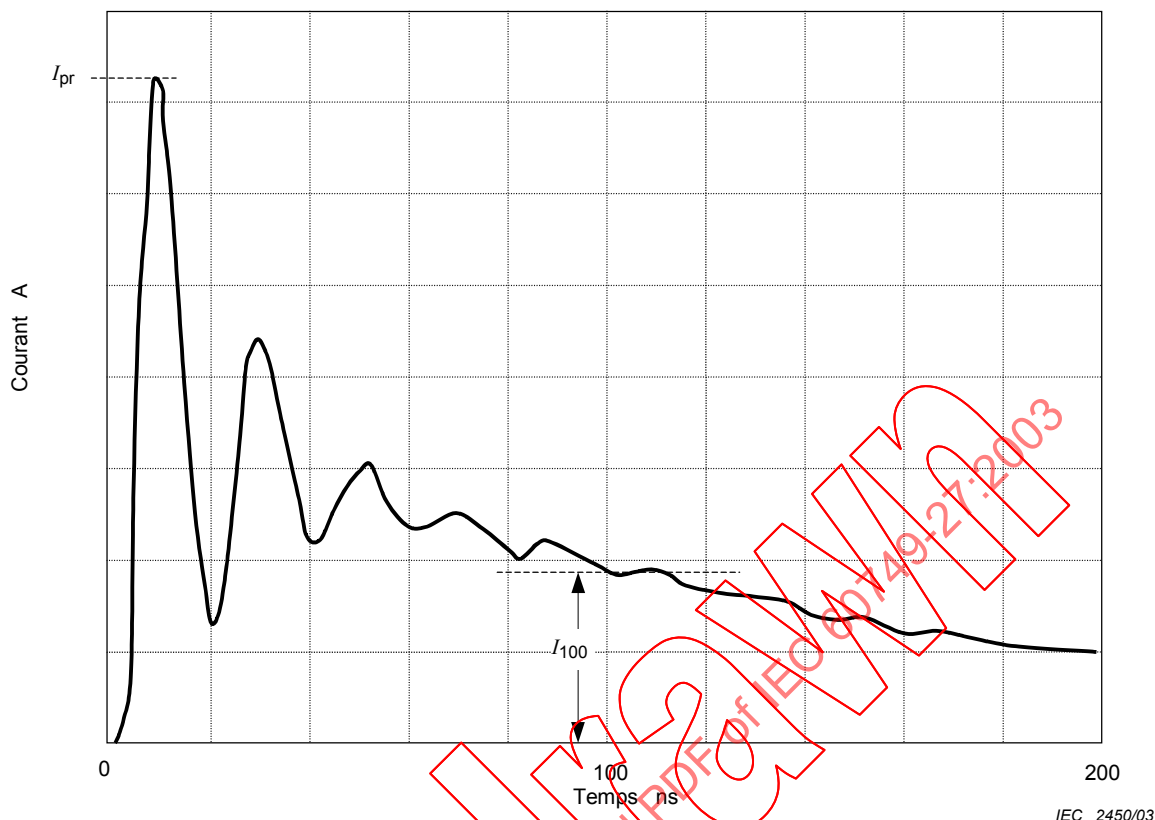


IEC 2449/03

Key

- I_{psl} positive I_{peak} for short
 t_{fr} period of resonant frequency
 t_r pulse time rise

Figure 2 – Current waveform through a shorting wire



Légende

I_{pr} $I_{crête}$ positif pour 500 Ω

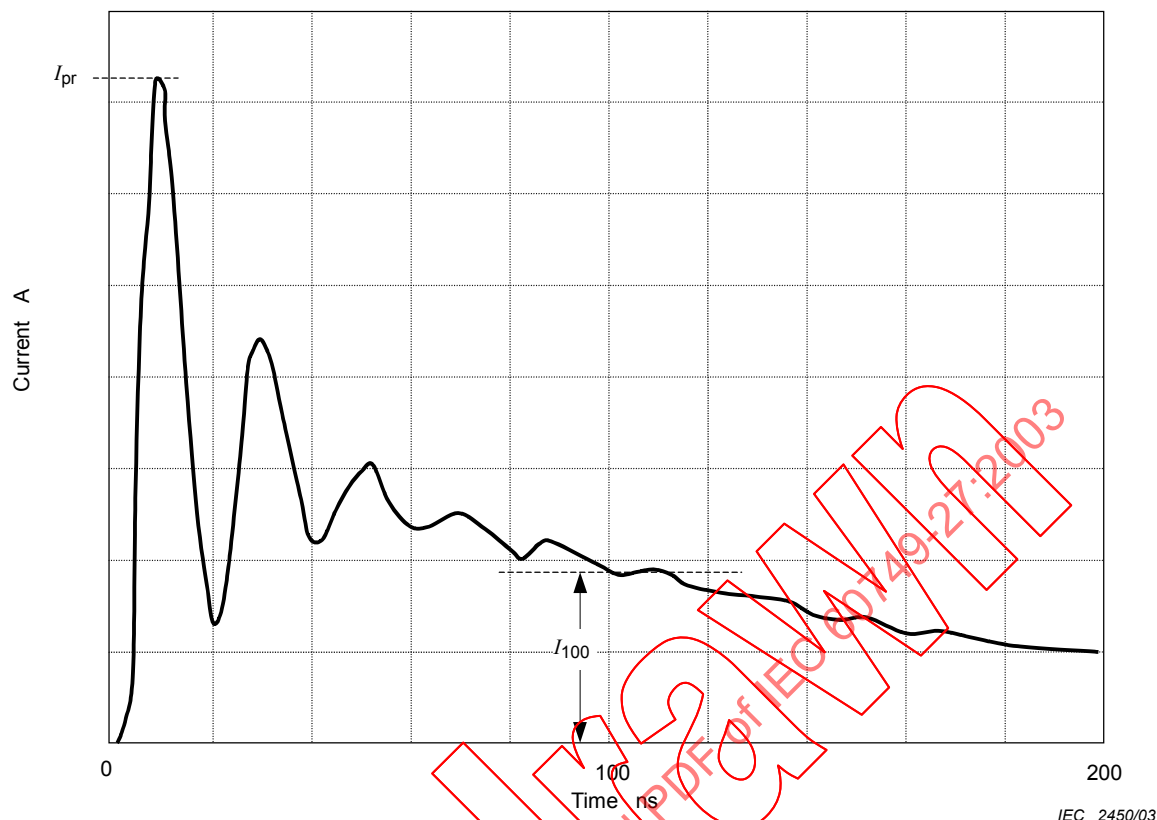
I_{100} courant à 100 ns pour 500 Ω

Figure 3 – Forme d'onde de courant à travers une résistance 500 Ω , décharge 400 V

4 Qualification, étalonnage et vérification de la forme d'onde

4.1 Qualification de l'équipement

L'étalonnage de l'équipement doit être réalisé au cours de l'essai de réception initiale. Le ré-étalonnage est exigé au minimum tous les 12 mois ou à chaque fois que des réparations de l'équipement peuvent affecter la forme d'onde. Le testeur doit être conforme aux exigences du Tableau 1 et de la Figure 2 à tous les niveaux de tension, en utilisant un fil de court-circuitage et au niveau de 400 V avec résistance de 500 Ω (voir la Figure 3). Les mesures de la forme d'onde au cours de l'étalonnage doivent être réalisées en utilisant la broche du cas le plus défavorable sur la carte DUT de comptage de broche la plus élevée ou sur la carte de qualification standard spécifiée en 4.2. (Il convient de vérifier la reproductibilité de la machine au cours de la réception initiale de l'équipement en réalisant au minimum cinq formes d'ondes positives consécutives et cinq négatives à un niveau de tension du Tableau 1). Les relais à haute tension et les circuits à haute tension associés doivent faire l'objet d'essais par l'utilisateur des systèmes contrôlés par ordinateur selon les instructions du fabricant de l'équipement (diagnostic système). Cet essai vérifiera tout relais ouvert ou court-circuité.

**Key** I_{pr} positive I_{peak} for 500 Ω I_{100} current at 100 ns for 500 Ω **Figure 3 – Current waveform through a 500 Ω resistor, 400 V discharge****4 Qualification, calibration, and waveform verification****4.1 Equipment qualification**

Equipment calibration shall be performed during initial acceptance testing. Recalibration is required at least every 12 months or whenever equipment repairs are made that may affect the waveform. The tester shall meet the requirements of Table 1 and Figure 2 at all voltage levels using the shorting wire and at the 400 V level with the 500 Ω resistance (see Figure 3). The waveform measurements during calibration shall be made using the worst-case pin on the highest pin count DUT board or the standard qualification board specified in 4.2. (Machine repeatability should be verified during initial equipment acceptance by performing a minimum of 5 consecutive positive and a minimum of 5 consecutive negative waveforms at a voltage level in Table 1). The high-voltage relays and associated high-voltage circuitry shall be tested by the user of computer-controlled systems per the equipment manufacturer's instructions (system diagnostics). This test will check for any open or short relays.

Tableau 1 – Spécification de la forme d'onde

Niveau de tension V	$I_{\text{crête positif pour court-circuit, } I_{\text{psl}}}$ A	$I_{\text{crête positif pour } 500 \Omega^a, } I_{\text{pr}}$ A	Courant à 100 ns pour $500 \Omega^a, I_{100}$ A	Courant d'appel maximal, I_R A	Fréquence de résonance pour court-circuit, FR ($1/t_{\text{fr}}$) MHz
100	1,5 - 2,0	n.a.	n.a.	$I_{\text{psl}} \times 30 \%$	11 - 16
200	2,9 - 4,0	n.a.	n.a.	$I_{\text{psl}} \times 30 \%$	11 - 16
400	5,8 - 8,0	$I_{100} \times 4,5$ maximum	$0,29 \pm 20 \%$	$I_{\text{psl}} \times 30 \%$	11 - 16
^a La charge de 500Ω est utilisée seulement pendant la qualification de l'équipement comme spécifié en 4.1.					

NOTE Les courants de crête théoriques n'ayant pas de courant d'appel ont des valeurs de 1,5 A à 100 V, 3,0 A à 200 V et 6,0 A à 400 V en supposant une capacité de 200 pF, une inductance parasite de 750 nH et une faible résistance de décharge. Cependant, un courant de crête de 2,0 A à 100 V, 4,0 A à 200 V et 8,0 A à 400 V peut être autorisé pour un pire cas de courant d'appel de 30 % de I_{psl} .

Formation à la sécurité



Au cours du montage initial de l'équipement, l'inspecteur de la sécurité ou un représentant de la sécurité compétent doit contrôler l'équipement à son emplacement de fonctionnement pour s'assurer que celui-ci ne fonctionne pas dans un environnement combustible (dangereux).

De plus, l'ensemble du personnel doit recevoir une formation sur le fonctionnement et la sécurité électrique avant d'utiliser l'équipement.

4.2 Broche du cas le plus défavorable ou carte de qualification standard

La qualification de l'équipement doit être faite par mesure du courant de décharge avec la combinaison de broches du cas le plus défavorable sur la carte DUT, comme spécifié en 4.2.1. Cette méthode doit être utilisée si l'équipement est construit en utilisant un générateur à décharge simple qui peut être connecté à toutes les broches du support sur la carte DUT par commutation des relais.

Les générateurs à décharges multiples doivent être qualifiés en utilisant la carte de qualification standard telle que spécifiée en 4.2.2. Cette méthode doit être utilisée si l'équipement est construit en utilisant une grande quantité de paires de broches de la carte DUT et du circuit d'essai et si chaque circuit d'essai est connecté à une seule broche sur la carte DUT.

4.2.1 Broche du cas le plus défavorable

La combinaison de broches du cas le plus défavorable pour chaque support et pour chaque carte DUT doit être identifiée et documentée. Il est recommandé que les fabricants fournissent les données de broches du cas le plus défavorable avec chaque carte DUT. La combinaison de broches avec la forme d'onde la plus proche des limites (voir Tableau 1) doit être désignée pour la vérification de la forme d'onde.

La combinaison de broches du cas le plus défavorable doit être identifiée par la procédure qui suit.

- Pour chaque support d'essai, identifier la broche de support avec le chemin de câblage le plus court entre le circuit générateur d'impulsions et le support d'essai. Connecter cette broche à la borne B (où elle restera la broche de référence pendant toute la recherche de broche du cas le plus défavorable) et connecter une des broches restantes à la borne A. Fixer un fil de court-circuitage entre ces broches avec la sonde de courant autour du fil de court-circuitage, aussi près de la borne B que cela est possible en pratique.

Table 1 – Waveform specification

Voltage level V	Positive I_{peak} for short, I_{psl} A	Positive I_{peak} for 500 Ω^a , I_{pr} A	Current at 100 ns for 500 Ω^a , I_{100} A	Maximum ringing current, I_{R} A	Resonance frequency for short, FR ($1/t_{\text{fr}}$) MHz
100	1,5 - 2,0	n.a.	n.a.	$I_{\text{psl}} \times 30 \%$	11 - 16
200	2,9 - 4,0	n.a.	n.a.	$I_{\text{psl}} \times 30 \%$	11 - 16
400	5,8 - 8,0	$I_{100} \times 4,5$ maximum	$0,29 \pm 20 \%$	$I_{\text{psl}} \times 30 \%$	11 - 16

^a The 500 Ω load is used only during equipment qualification as specified in 4.1.

NOTE The theoretical peak currents having no ringing current are 1,5 A at 100 V, 3,0 A at 200 V and 6,0 A at 400 V, assuming a capacitance of 200 pF, parasitic inductance of 750 nH and small discharge resistance. Therefore, a peak current of 2,0 A at 100 V, 4,0 A at 200 V and 8,0 A at 400 V can be allowed for the worst level of ringing current of 30 % of I_{psl} .

Safety training



During initial equipment set-up, the safety engineer or applicable safety representative shall inspect the equipment in its operating location to ensure that the equipment is not operated in a combustible (hazardous) environment.

Additionally, all personnel shall receive system operational training and electrical safety training prior to using the equipment.

4.2 Worst-case pin or standard qualification board

Equipment qualification shall be made by discharge current measurement with a worst-case pin combination of DUT board, as specified in 4.2.1. This method shall be used if the equipment is constructed using a single discharge generator that can be connected to all pins of the socket on the DUT board by switching of relays.

Multiple discharge generators shall be qualified using the standard qualification board specified in 4.2.2. This method shall be used if the equipment is constructed using a large number of pairs of pins of the DUT board and test circuit and each test circuit is connected to only a single pin of the DUT board.

4.2.1 Worst-case pin

The worst-case pin combination for each socket and DUT board shall be identified and documented. It is recommended that the manufacturers supply the worst-case pin data with each DUT board. The pin combination with the waveform closest to the limits (see Table 1) shall be designated for waveform verification.

The worst-case pin combination shall be identified by the following procedure.

- For each test socket, identify the socket pin with the shortest wiring path from the pulse generating circuit to the test socket. Connect this pin to terminal B (where it will remain the reference pin throughout the worst case pin search) and connect one of the remaining pins to terminal A. Attach a shorting wire between these pins with the current probe around the shorting wire, as close to terminal B as practicable.

- b) Appliquer une impulsion positive de 400 V et une impulsion négative de 400 V et vérifier que la forme d'onde satisfait aux exigences définies au Tableau 1 pour les impulsions tant positives que négatives.
- c) Répéter les étapes a) et b) jusqu'à ce que toutes les broches de support soient évaluées.
- d) Déterminer la paire de broches du cas le plus défavorable (dans les limites et le plus près possible des valeurs minimale ou maximale de paramètre comme spécifié au Tableau 1) pour être utilisée pour la vérification future des formes d'ondes.
- e) Pour la vérification initiale de carte, connecter une résistance de 500 Ω entre les broches du cas le plus défavorable précédemment identifiées avec le fil de court-circuitage à l'étape d). Appliquer une impulsion positive et négative de 400 V et vérifier que la forme d'onde satisfait aux prescriptions définies dans le Tableau 1.

NOTE Si le support d'essai ou la carte d'essai a déjà été caractérisé pour la broche du cas le plus défavorable sur HBM, cette combinaison de broches est alors acceptable pour une utilisation avec la vérification de la forme d'onde MM. Comme variante à la recherche de la broche du cas le plus défavorable, la paire de broches de référence peut être identifiée pour chaque support d'essai de chaque fixation d'essai. Il convient que la combinaison de broches de référence soit identifiée en déterminant la broche de support avec le chemin de câblage le plus court entre le circuit générateur d'impulsions et le support d'essai. Connecter cette broche à la borne B puis connecter la broche de support avec le chemin de câblage le plus long du circuit de génération d'impulsions au support d'essai à la borne A (normalement fournie par le fabricant). Fixer un fil de court-circuitage entre ces broches et la sonde de courant autour du fil de court-circuitage. Suivre la procédure de l'étape b). Pour la vérification initiale de carte, connecter une résistance de 500 Ω entre les broches de référence. Appliquer une impulsion positive et négative de 400 V et vérifier que la forme d'onde satisfait aux paramètres définis au Tableau 1.

4.2.2 Carte de qualification standard

La carte de qualification standard doit satisfaire aux prescriptions suivantes.

- a) Les dimensions de la carte de qualification standard doivent être les mêmes que celles de la carte DUT.
- b) La longueur précise des fils internes de la carte de qualification standard, entre l'équipement et les bornes utilisées pour la connexion aux charges d'évaluation, doit être spécifiée dans le document spécifique d'application.
- c) La longueur totale de chaque paire de circuit dans toutes les cartes DUT doit être inférieure ou égale à la longueur des paires de fils internes dans la carte de qualification standard et la charge d'évaluation spécifiées en 3.4.

4.3 Vérification de la forme d'onde

4.3.1 La vérification de la forme d'onde doit être réalisée au début de chaque changement où un testeur est utilisé et lorsqu'une carte support/DUT est changée. Si, à un moment quelconque, les formes d'onde ne satisfont pas aux exigences définies à la Figure 1 et au Tableau 1 au niveau de 400 V, l'essai doit être arrêté jusqu'à ce que la forme d'onde soit conforme. De plus, l'essai de diagnostic système tel qu'il est défini en 4.1 pour les systèmes automatisés doit être réalisé avant le début de chaque essai de changement. L'intervalle entre les vérifications de formes d'onde peut être allongé dans la mesure où les données d'essai légitiment cet intervalle accru. Si la forme d'onde ne satisfait plus aux limites du Tableau 1, tous les essais de DES réalisés après la première vérification de forme d'onde satisfaisante seront considérés comme invalides.

4.3.2 Le support DUT nécessaire étant installé et aucun élément n'étant dans le support, fixer un fil de court-circuitage dans le support DUT de telle manière que les broches du cas le plus défavorable soient connectées entre la borne A et la borne B comme représenté à la Figure 2. Placer la sonde de courant autour du fil de court-circuitage.

4.3.3 Initier une impulsion positive au niveau de 400 V selon le Tableau 1 et la Figure 2. Vérifier que tous les paramètres satisfont aux limites spécifiées au Tableau 1 et à la Figure 2.

4.3.4 Initier une impulsion négative au niveau de 400 V selon le Tableau 1. Vérifier que tous les paramètres satisfont aux limites spécifiées au Tableau 1 et à la Figure 1.

- b) Apply a positive 400 V pulse and a negative 400 V pulse and verify that the waveform meets the requirements defined in Table 1 for both positive and negative pulses.
- c) Repeat steps a) and b) until all socket pins have been evaluated.
- d) Determine the worst-case pin pair (within the limits and closest to the minimum or maximum parameter values as specified in Table 1) to be used for future waveform verification.
- e) For initial board check-out, connect a 500 Ω resistor between the worst-case pins previously identified with the shorting wire in step d). Apply a positive and negative 400 V pulse and verify that the waveform meets the requirements defined in Table 1.

NOTE If the test socket/test board has already been characterized for worst-case pin on HBM, then that pin combination is acceptable for use with MM waveform verification. As an alternative to the worst-case pin search, the reference pin pair may be identified for each test socket of each test fixture. The reference pin combination should be identified by determining the socket pin with the shortest wiring path from the pulse generating circuit to the test socket. Connect this pin to terminal B and then connect the socket pin with the longest wiring path from the pulse generating circuit to the test socket to terminal A (normally provided by the manufacturer). Attach a shorting wire between these pins with the current probe around the shorting wire. Follow the procedure in step b). For the initial board check-out connect a 500 Ω resistor between the reference pins. Apply a positive and negative 400 V pulse and verify that the waveform meets the parameters in Table 1.

4.2.2 Standard qualification board

The standard qualification board shall satisfy the following requirements.

- a) The size for the standard qualification board shall be the same size as is used for the DUT board.
- b) The specific length of internal wires of the standard qualification board, between equipment and the terminals used to connect with evaluation loads, shall be specified in the applicable specification.
- c) The total length of each circuit pair in all DUT boards shall be shorter than/equal to the length of the internal wire pairs in the standard qualification board and the evaluation load specified in 3.4.

4.3 Waveform verification

4.3.1 The waveform verification shall be performed at the beginning of each shift that a tester is operated and when a socket/DUT board is changed. If at any time the waveforms do not meet the requirements defined in Figure 1 and Table 1 at the 400 V level, the testing shall be halted until the waveform is in compliance. Additionally, the system diagnostics test as defined in 4.1 for automated systems shall be performed prior to the beginning of each shift that testing is operated. The period between waveform checks may be extended providing test data supports the increased interval. If the waveform no longer meets the limits in Table 1, all ESD testing performed after the previous satisfactory waveform check will be considered invalid.

4.3.2 With the required DUT socket installed and with no device in the socket, attach a shorting wire in the DUT socket such that the worst-case pins are connected between terminal A and terminal B as shown in Figure 2. Place the current probe around the shorting wire.

4.3.3 Initiate a positive pulse at the 400 V level per Table 1 and Figure 2. Verify that all parameters meet the limits specified in Table 1 and Figure 2.

4.3.4 Initiate a negative pulse at the 400 V level per Table 1. Verify that all parameters meet the limits specified in Table 1 and Figure 1.

5 Procédure de classification

5.1 Les dispositifs utilisés pour les essais de classification doivent subir toutes les opérations normales de fabrication.

5.2 Avant les essais DES, les essais paramétriques et fonctionnels à courant continu, à température ambiante et, le cas échéant, à haute température, doivent être réalisés sur tous les dispositifs soumis aux essais DES. Les dispositifs d'essai doivent satisfaire aux prescriptions des fiches techniques de dispositifs pour ces paramètres.

5.3 Un échantillon de plusieurs dispositifs (par exemple 3) pour chaque niveau de tension doit être caractérisé pour le seuil de défaillance DES de dispositif en utilisant les paliers de tension indiqués au Tableau 1. Des paliers de tension plus fins peuvent éventuellement être utilisés pour obtenir une mesure plus précise du seuil de défaillance. Il convient que les essais DES commencent au palier le plus faible du Tableau 1. L'essai DES doit être réalisé à température ambiante.

5.4 Chaque échantillon de dispositifs (par exemple 3) doit être soumis à une contrainte de niveau de tension en utilisant une impulsion positive et une impulsion négative avec un minimum de 0,3 s entre les impulsions par broche pour toutes les combinaisons de broches spécifiées au Tableau 2. Il est permis d'utiliser un échantillon séparé de plusieurs dispositifs (par exemple 3) pour chaque combinaison de broches spécifiée au Tableau 2. Il est permis d'utiliser le même échantillon (par exemple 3) au niveau de contrainte de tension immédiatement supérieur si toutes les dispositifs passent les critères de défaillance spécifiés à l'Article 6 après exposition DES à un niveau de tension spécifié.

5.5 Combinaisons de broches

Les combinaisons de broches à utiliser sont données au Tableau 2. Le nombre réel de combinaisons de broches dépend du nombre de groupes de broches de puissance. Les broches de puissance de même nom (V_{CC1} , V_{CC2} , V_{SS1} , V_{SS2} , GND, etc.) qui sont directement connectées par du métal (à l'intérieur du boîtier) peuvent être liées ensemble et traitées comme une broche pour la connexion de la borne B. Sinon, chaque broche de puissance doit être traitée comme une broche de puissance séparée. Il convient que les broches de programmation qui ne tirent pas de courant soient considérées comme des broches d'E/S (exemple: broches V_{PP} sur les dispositifs de mémoire). Des dispositifs discrets actifs (FETs, transistors, etc.) doivent être essayés en utilisant tous noms ou toutes fonctions broche-à-broche possibles. Toutes les broches configurées comme broches «sans connexion» doivent être vérifiées, comme telles et laissées ouvertes (flottantes) en tout temps. Les broches désignées «sans connexion», qui sont en fait connectées, doivent être soumises aux essais comme des broches n'assurant pas l'alimentation.

Tableau 2 – Combinaisons de broches pour circuits intégrés

Combinaison de broches	Connecter individuellement à la borne A	Connecter à la borne B (terre)	Broches flottantes (sans connexion)
1	Toutes broches une par une, à l'exception de la ou des broches connectées à la borne B	Première(s) broche(s) de puissance	Toutes broches sauf PUT ^a et première(s) broche(s) de puissance
2	Toutes broches une par une, à l'exception de la ou des broches connectées à la borne B	Seconde(s) broche(s) de puissance	Toutes les broches sauf PUT et seconde(s) broche(s) de puissance
3	Toutes broches une par une, à l'exception de la ou des broches connectées à la borne B	N ^{ième} (s) broche(s) de puissance	Toutes les broches sauf PUT et n ^{ième} (s) broche(s) de puissance
4	Chaque broche n'assurant pas l'alimentation, une par une	Toutes autres broches n'assurant pas l'alimentation collectivement sauf PUT	Toutes broches de puissance

^a PUT: Broche en essai.

5 Classification procedure

5.1 The devices used for classification testing shall have completed all normal manufacturing operations.

5.2 Prior to ESD testing, d.c. parametric and functional testing at room temperature and, if applicable, high temperature shall be performed on all devices submitted for ESD testing. The test devices shall meet device data sheet requirements for these parameters.

5.3 A sample of devices (e.g. 3) for each voltage level shall be characterised for the device ESD failure threshold using the voltage steps shown in Table 1. Finer voltage steps may optionally be used to obtain a more accurate measure of the failure threshold. ESD testing should begin at the lowest step in Table 1. The ESD test shall be performed at room temperature.

5.4 Each sample of devices (e.g. 3) shall be stressed at one voltage level using 1 positive and 1 negative pulses with a minimum of 0,3 s between pulses per pin for all pin combinations specified in Table 2. It is permitted to use a separate sample of devices (e.g. 3) for each pin combination specified in Table 2. It is permitted to use the same sample (e.g. 3) at the next higher voltage stress level if all devices pass the failure criteria specified in Clause 6 after ESD exposure to a specified voltage level.

5.5 Pin combinations

The pin combinations to be used are given in Table 2. The actual number of pin combinations depends on the number of power pin groups. Like named power pins (V_{CC1} , V_{CC2} , V_{SS1} , V_{SS2} , GND, etc.) that are directly connected by metal (inside the package) may be tied together and treated as one pin for terminal B connection. Otherwise, each power pin shall be treated as a separate power pin. Programming pins that do not draw current should be considered as I/O pins (example: V_{PP} pins on memory devices). Active discrete devices (FETs, transistors, etc.) shall be tested using all possible pin-pin names or functions. All pins configured as “no connect” pins shall be verified as “no-connect” and left open (floating) at all times. Pins labelled “no-connect”, that in fact are connected, shall be tested as non-supply pins.

Table 2 – Pin combinations for integrated circuits

Pin combination	Connect individually to terminal A	Connect to terminal B (ground)	Floating pins (unconnected)
1	All pins one at a time, except the pin(s) connected to terminal B	First power pin(s)	All pins except PUT ^a and first power pin(s)
2	All pins one at a time, except the pin(s) connected to terminal B	Second power pin(s)	All pins except PUT and second power pin(s)
3	All pins one at a time, except the pin(s) connected to terminal B	N th power pin(s)	All pins except PUT and n th power pin(s)
4	Each non-supply pin, one at a time	All other non-supply pins collectively except PUT	All power pins

^a PUT: Pin under test.

5.6 Si un groupe d'échantillons différent est soumis à l'essai DES à chaque niveau de contrainte, il est permis de réaliser les essais paramétriques en courant continu et ATE (équipement d'essai automatique) fonctionnels après les essais DES de tous les groupes d'échantillons.

6 Critères de défaillance

Un dispositif sera défini comme défaillant si, après exposition aux impulsions DES, il ne satisfait plus aux exigences des fiches techniques de dispositif, en utilisant les essais paramétriques et fonctionnels. Si des essais sont nécessaires à des températures multiples, les essais doivent être réalisés d'abord à la température la plus faible.

7 Critères de classification

Tous les échantillons doivent satisfaire aux exigences d'essai de l'Article 5 jusqu'à un niveau de tension particulier pour que le dispositif soit reconnu correspondre à une classification de sensibilité particulière.

CLASSE A: Tout dispositif qui échoue après exposition à une impulsion DES de 200 V ou moins.

CLASSE B: Tout dispositif qui subit avec succès l'exposition à une impulsion DES de 200 V mais qui ne résiste pas à une exposition à une impulsion DES de 400 V.

CLASSE C: Tout dispositif qui subit avec succès une exposition à une impulsion DES de 400 V.

8 Sommaire

Les indications suivantes doivent être spécifiées dans le document spécifique d'application.

- a) La méthode d'essai choisie entre celle du modèle du corps humain et celle du modèle machine (voir Article 1).
- b) La fréquence de qualification de l'équipement (voir 4.1).
- c) La paire de broches du cas le plus défavorable et la carte DUT utilisée pour la qualification de l'équipement, si elle est employée (voir 4.1).
- d) La différence acceptable des temps de décharge pendant l'essai de répétabilité de la machine (voir 4.1).
- e) Identification de la paire de broches du cas le plus défavorable pour chaque support et chaque carte DUT (voir 4.2.1).
- f) Longueur spécifique des fils internes de la carte de qualification standard (voir 4.2.2).
- g) Taille de l'échantillon pour l'essai (voir Article 5).
- h) Caractéristiques électriques et fonctionnelles de chaque dispositif concernant les critères de défaillance (voir Article 6).
- i) Si requis: température pour l'essai électrique (voir Article 6).

5.6 If a different sample group is ESD tested at each stress level, it is permitted to perform the d.c. parametric and functional ATE (automatic test equipment) testing after all sample groups have been ESD tested.

6 Failure criteria

A device will be defined as a failure if, after exposure to ESD pulses, it no longer meets the device data sheet requirements using parametric and functional testing. If testing is required at multiple temperatures, testing shall be performed at the lowest temperature first.

7 Classification criteria

All samples used shall meet the test requirements of Clause 5 up to a particular voltage level in order for the device to be classified as meeting a particular sensitivity classification.

CLASS A: Any device that fails after exposure to an ESD pulse of 200 V or less.

CLASS B: Any device that passes after exposure to an ESD pulse of 200 V, but fails after exposure to an ESD pulse of 400 V.

CLASS C: Any device that passes after exposure to an ESD pulse of 400 V.

8 Summary

The following details shall be specified in the applicable specification.

- a) Test method to be selected from human body model or machine model (see Clause 1).
 - b) Frequency of equipment qualification (see 4.1).
 - c) Worst case pin pair and DUT board used for equipment qualification if it is used (see 4.1).
 - d) Acceptable difference in discharge times during machine repeatability testing (see 4.1).
 - e) Identification of worst case pin pair for each socket and DUT board (see 4.2.1).
 - f) Specific length of internal wires of the standard qualification board (see 4.2.2).
 - g) Sample size for testing (see Clause 5).
 - h) Functional and electrical characteristics of each device for failure criteria (see Clause 6).
 - i) Temperature for electrical testing if required (see Clause 6).
-