

TECHNICAL REPORT

RAPPORT TECHNIQUE

**Electrostatics –
Part 1: Electrostatic phenomena – Principles and measurements**

**Electrostatique –
Partie 1: Phénomènes électrostatiques – Principes et mesures**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX



ICS 17.200.99; 29.020

ISBN 978-2-83220-195-4

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.....	5
INTRODUCTION.....	7
1 Scope.....	8
2 Normative references	8
3 Terms and definitions	9
4 Fundamentals of static electricity.....	11
4.1 General.....	11
4.2 Contact electrification.....	12
4.3 Charging by induction.....	13
4.4 Charge transfer by conduction.....	14
4.5 Retention of charge.....	14
4.6 Influence of environmental humidity	16
4.6.1 General	16
4.6.2 In situ measurements	16
4.7 Electrostatic discharges	16
4.7.1 General	16
4.7.2 Spark discharges.....	16
4.7.3 Corona discharges	17
4.7.4 Brush discharges.....	17
4.7.5 Propagating brush discharges	17
4.7.6 Cone discharges.....	18
4.8 Mechanical forces in an electrostatic field	18
5 Electrostatic problems and hazards	19
5.1 General.....	19
5.2 Electronic components and systems.....	19
5.2.1 General	19
5.2.2 Types of failure.....	19
5.2.3 Problems and threats at different life cycle periods.....	20
5.3 Electrostatic ignition – Hazards	21
5.3.1 General	21
5.3.2 Spark discharges from conducting objects	21
5.3.3 Corona discharges from conducting objects.....	21
5.3.4 Brush discharges from insulating surfaces.....	21
5.3.5 Propagating brush discharges from insulating surfaces	22
5.3.6 Discharges from people.....	22
5.3.7 Ignition potential of electrostatic discharges	22
5.4 Physiological sensation	24
5.5 Simulation of electrostatic discharges.....	25
5.5.1 General	25
5.5.2 Capacitive discharges for ignition energy measurements.....	26
5.5.3 Human body model.....	26
5.5.4 Machine model	26
5.5.5 Charged device model.....	26
6 General solutions to problems and hazards	27

6.1	General	27
6.2	Common approaches.....	27
7	Useful applications of electrostatic effects	28
8	General aspects of measurements	29
8.1	General	29
8.2	Electric field	29
8.2.1	General	29
8.2.2	Application	30
8.3	Potential.....	30
8.3.1	General	30
8.3.2	Surface voltage	30
8.3.3	Space potential	31
8.4	Charge	31
8.5	Charge density	32
8.5.1	Surface charge density	32
8.5.2	Volume charge density	32
8.6	Charge decay.....	33
8.7	Resistance and resistivity	34
8.8	Chargeability	34
8.9	Current.....	35
8.10	Energy in capacitive discharges	35
8.11	Ignition energy	36
8.11.1	General	36
8.11.2	Equivalent energy.....	36
8.12	Charge transferred in electrostatic discharges	37
8.12.1	General	37
8.12.2	Discharge electrode.....	38
8.12.3	Measuring circuit	39
8.12.4	Alternative charge transfer measuring arrangements	39
8.13	Capacitance	39
8.14	Electric strength	40
	Bibliography.....	41
	Figure 1 – Charging by induction	14
	Figure 2 – Charge transfer by conduction when objects 1 and 2 are conductors.....	14
	Figure 3 – Equivalent electrical circuit for an electrostatically charged conductor.....	15
	Figure 4 – Examples of brush discharge waveforms measured with a fast digital storage oscilloscope	24
	Figure 5 – Circuit for simulation of electrostatic discharges.....	25
	Figure 6 – Basic arrangements for measuring charge transferred in electrostatic discharges with alternative measuring circuits	38
	Figure 7 – Oscilloscope voltage/time traces	39

Table 1 – Example of triboelectric series.....	13
Table 2 – Typical electrical capacitances	17
Table 3 – Typical perception levels and physical responses of people to discharges based on a body capacitance of 200 pF	25
Table 4 – Typical values used in ESD simulation models	27

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ELECTROSTATICS –**Part 1: Electrostatic phenomena –
Principles and measurements****FOREWORD**

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

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. However, a technical committee may propose the publication of a technical report when it has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

IEC/TR 61340-1, which is a technical report, has been prepared by IEC technical committee 101: Electrostatics.

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

Enquiry draft	Report on voting
101/344/DTR	101/355/RVC

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

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

A list of all the parts in the IEC 61340 series, published under the general title *Electrostatics*, can be found on the IEC website.

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

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

The contents of the corrigenda 1 (March 2013) and 2 (December 2017) have been included in this copy.

INTRODUCTION

Static electricity has been known for around 2 500 years but until recently had little impact on humankind. More recently in the last century the nature of static electricity became better understood and the principles of charge separation and accumulation could be described. Despite this improved understanding, it remains difficult to predict with certainty the polarity and magnitude of charges built up in any situation due to the many factors involved, and to, many electrostatics remains a “black art” rather than a science.

The development of modern materials, especially polymers, and their nearly ubiquitous application in fields such as floor materials, furnishings, clothing and engineering materials, has made static electricity an everyday phenomenon. In some industries, such as electronics manufacture and processes using flammable materials, unintended and invisible electrostatic discharges can lead to substantial component damage or unreliability, or fires or explosions. In everyday life, experience of electrostatic shocks to personnel has become commonplace. This has led to increasing need to understand such phenomena, and to specify materials, equipment and procedures for use in preventing and controlling electrostatic problems in the human environment.

This technical report gives an overview of the field of electrostatics and has been prepared to give the user a view of the background, principles, methods of measurement and industrial applications prepared in conformity with IEC TC101 publications.

ELECTROSTATICS –

Part 1: Electrostatic phenomena – Principles and measurements

1 Scope

This part of IEC 61340, which is a technical report, describes the fundamental principles of electrostatic phenomena including charge generation, retention and dissipation and electrostatic discharges.

Methods for measuring electrostatic phenomena and related properties of materials are described in a general way.

Hazards and problems associated with electrostatic phenomena and principles of their control are outlined.

Useful applications of electrostatic effects are summarized.

The purpose of this technical report is to serve as a reference for the development of electrostatics related standards, and to provide guidance for their end-users.

2 Normative references

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

IEC 60079-10-1, *Explosive atmospheres – Part 10-1: Classification of areas – Explosive gas atmospheres*

IEC 60079-10-2, *Explosive atmospheres – Part 10-2: Classification of areas – Combustible dust atmospheres*

IEC 61000-4-2, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-2: Testing and measurement techniques – Electrostatic discharge immunity test*

IEC 61340-5-1, *Electrostatics – Part 5-1: Protection of electronic devices from electrostatic phenomena – General requirements*

IEC 61340-5-2, *Electrostatics – Part 5-2: Protection of electronic devices from electrostatic phenomena – User guide*

IEC 60243-1, *Electrical strength of insulating materials – Test methods – Part 1: Tests at power frequencies*

IEC 60243-2, *Electric strength of insulating materials – Test methods – Part 2: Additional requirements for tests using direct voltage*

IEC 61241-2-3, *Electrical apparatus for use in the presence of combustible dust – Part 2: Test methods – Section 3: Method for determining minimum ignition energy of dust/air mixtures*

BS EN 13821, *Potentially explosive atmospheres. Explosion prevention and protection. Determination of minimum ignition energy of dust/air mixtures*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	47
INTRODUCTION.....	49
1 Domaine d'application	50
2 Références normatives	50
3 Termes et définitions	51
4 Principes fondamentaux relatifs à l'électricité statique	54
4.1 Généralités.....	54
4.2 Décharge électrique par contact.....	54
4.3 Charge par induction	56
4.4 Transfert de charge par conduction	56
4.5 Rétention de charge	57
4.6 Influence de l'humidité ambiante	58
4.6.1 Généralités.....	58
4.6.2 Mesures sur site	58
4.7 Décharges électrostatiques	58
4.7.1 Généralités.....	58
4.7.2 Décharges par étincelles	58
4.7.3 Décharges par effet couronne.....	59
4.7.4 Décharges par effet de brosse	60
4.7.5 Décharges par effet de brosse par propagation	60
4.7.6 Décharges par effet de cône.....	61
4.8 Forces mécaniques dans un champ électrostatique	61
5 Problèmes et dangers d'ordre électrostatique	61
5.1 Généralités.....	61
5.2 Composants et systèmes électroniques	62
5.2.1 Généralités.....	62
5.2.2 Types de défaillance.....	62
5.2.3 Problèmes et risques à différentes périodes du cycle de vie	63
5.3 Inflammation électrostatique – Dangers.....	63
5.3.1 Généralités.....	63
5.3.2 Décharges par étincelles provenant des objets conducteurs	64
5.3.3 Décharges par effet couronne provenant des objets conducteurs	64
5.3.4 Décharges par effet de brosse provenant de surfaces isolantes	64
5.3.5 Décharges par effet de brosse par propagation provenant de surfaces isolantes.....	64
5.3.6 Décharges provenant des individus	65
5.3.7 Potentiel d'inflammation des décharges électrostatiques	65
5.4 Sensation physiologique.....	67
5.5 Simulation de décharges électrostatiques.....	68
5.5.1 Généralités.....	68
5.5.2 Décharges capacitatives pour mesures de l'énergie d'inflammation	69
5.5.3 Modèle du corps humain.....	69
5.5.4 Modèle de la machine.....	69
5.5.5 Modèle du composant chargé	69
6 Solutions générales aux problèmes et dangers	70

6.1	Généralités.....	70
6.2	Méthodes courantes	70
7	Applications utiles relatives aux effets électrostatiques.....	72
8	Aspects généraux relatifs aux mesures.....	72
8.1	Généralités.....	72
8.2	Champ électrique	73
8.2.1	Généralités.....	73
8.2.2	Application	73
8.3	Potentiel.....	74
8.3.1	Généralités.....	74
8.3.2	Potentiel de surface.....	74
8.3.3	Potentiel spatial.....	75
8.4	Charge	75
8.5	Densité de charge	76
8.5.1	Densité de charge surfacique	76
8.5.2	Densité de charge volumique.....	76
8.6	Décroissance de la charge	77
8.7	Résistance et résistivité	78
8.8	Chargeabilité (capacité de charge)	79
8.9	Courant.....	79
8.10	Energie des décharges capacitatives	80
8.11	Énergie d'inflammation.....	80
8.11.1	Généralités.....	80
8.11.2	Energie équivalente.....	81
8.12	Charge transférée dans des décharges électrostatiques.....	81
8.12.1	Généralités.....	81
8.12.2	Électrode de décharge.....	82
8.12.3	Circuit de mesure	83
8.12.4	Autres dispositions de mesure du transfert de charge.....	83
8.13	Capacité.....	84
8.14	Rigidité diélectrique.....	84
	Bibliographie.....	85
	Figure 1 – Charge par induction.....	56
	Figure 2 – Transfert de charge par conduction lorsque les objets 1 et 2 sont conducteurs	56
	Figure 3 – Circuit électrique équivalent d'un conducteur à charge électrostatique	57
	Figure 4 – Exemples de formes d'onde de décharge par effet de brosse mesurées avec un oscilloscope numérique à mémoire rapide.....	67
	Figure 5 – Circuit de simulation des décharges électrostatiques	68
	Figure 6 – Disposition de base de mesure de la charge transférée dans des décharges électrostatiques avec variantes de circuits de mesure.....	82
	Figure 7 – Tracés d'oscilloscope tension/temps	83

Tableau 1 – Exemple de série triboélectrique.....	55
Tableau 2 – Capacités électriques types.....	59
Tableau 3 – Niveaux de perception types et réponses physiques des individus aux décharges basées sur une capacité du corps de 200 pF	68
Tableau 4 – Valeurs types utilisées dans les modèles de simulation ESD	70

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ÉLECTROSTATIQUE –

**Partie 1: Phénomènes électrostatiques –
Principes et mesures**

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 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 la CEI. La CEI 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 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 brevet. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La tâche principale des comités d'études de la CEI est d'élaborer les Normes internationales. Cependant, lorsqu'un comité d'études a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales (ceci pouvant comprendre des informations sur l'état de la technique par exemple), il peut décider de publier un Rapport technique.

La CEI/TR 61340-1, qui est un rapport technique, a été établie par le comité d'études 101 de la CEI: Electrostatique.

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

Projet d'enquête	Rapport de vote
101/344/DTR	101/355/RVC

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

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

Une liste de toutes les parties de la série CEI 61340, présentées sous le titre général *Électrostatique*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

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

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

Le contenu des corrigenda 1 (mars 2013) et 2 (décembre 2017) a été pris en considération dans cet exemplaire.

INTRODUCTION

Bien que l'électricité statique soit connue depuis environ 2 500 ans, elle n'a eu jusqu'à présent qu'une très faible incidence sur l'Homme. Plus récemment, au cours du siècle passé, les connaissances sur la nature de l'électricité statique se sont améliorées permettant ainsi de mieux décrire les principes de séparation et d'accumulation de charge. En dépit de cette meilleure compréhension, il est toujours difficile de prévoir avec certitude la polarité et l'amplitude des accumulations de charge quelle que soit la situation et ce en raison des nombreux facteurs impliqués. De ce fait, pour un grand nombre de personnes les phénomènes électrostatiques relèvent davantage du domaine des «sciences occultes» que de la science.

Depuis le développement de matériaux modernes, notamment les polymères, et leurs applications pratiques pratiquement omniprésents, telles que les matériaux de revêtement de sol, d'ameublement, d'habillement et autres matériaux industriels, l'électricité statique est devenue un phénomène quotidien. Dans certaines industries, telles que la fabrication et les traitements de dispositifs électroniques utilisant des matériaux inflammables, les décharges électrostatiques intempestives et invisibles peuvent donner lieu à des dommages conséquents de composants ou altérer leur fiabilité, voire provoquer des incendies ou des explosions. Dans la vie courante, les accidents de chocs électrostatiques au personnel sont devenus habituels. Ceci a justifié la nécessité de mieux comprendre ces phénomènes et de spécifier les matériaux, appareils et procédures à appliquer dans le cadre de la prévention et du contrôle des problèmes électrostatiques dans l'environnement humain.

Le présent rapport technique donne un aperçu du domaine des phénomènes électrostatiques et en fournit aux utilisateurs le contexte, les principes, les méthodes de mesure et les applications industrielles élaborés conformément aux publications du TC101 de la CEI.

ÉLECTROSTATIQUE –

Partie 1: Phénomènes électrostatiques – Principes et mesures

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 61340, qui est un rapport technique, décrit les principes fondamentaux relatifs aux phénomènes électrostatiques, comprenant la génération, le maintien et la dissipation de la charge, et les décharges électrostatiques.

Les méthodes de mesure des phénomènes électrostatiques et des propriétés associées des matériaux sont décrites de manière générale.

Les dangers et les problèmes liés aux phénomènes électrostatiques ainsi que les principes de leur contrôle sont présentés dans les grandes lignes.

Des applications utiles des effets électrostatiques sont résumées.

Le présent rapport technique est destinée à servir de référence pour l'élaboration de normes relatives aux phénomènes électrostatiques et de guide pour l'utilisateur final.

2 Références normatives

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

CEI 60079-10-1, *Atmosphères explosives – Partie 10-1: Classement des emplacements – Atmosphères explosives gazeuses*

CEI 60079-10-2, *Atmosphères explosives – Partie 10-2: Classement des emplacements – Atmosphères explosives poussiéreuses*

CEI 61000-4-2, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-2: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux décharges électrostatiques*

CEI 61340-5-1, *Electrostatique – Partie 5-1: Protection des dispositifs électroniques contre les phénomènes électrostatiques – Exigences générales*

CEI 61340-5-2, *Electrostatique – Partie 5-2: Protection des dispositifs électroniques contre les phénomènes électrostatiques – Guide d'utilisation*

CEI 60243-1, *Rigidité diélectrique des matériaux isolants – Méthodes d'essai – Partie 1: Essais aux fréquences industrielles*

CEI 60243-2, *Rigidité diélectrique des matériaux isolants – Méthodes d'essai – Partie 2: Exigences complémentaires pour les essais à tension continue*

CEI 61241-2-3, *Matériels électriques destinés à être utilisés en présence de poussières combustibles – Partie 2: Méthodes d'essai – Section 3: Méthode de détermination de l'énergie minimale d'inflammation des mélanges air/poussières*

BS EN 13821, *Potentially explosive atmospheres. Explosion prevention and protection. Determination of minimum ignition energy of dust/air mixtures*
(disponible en anglais uniquement)