

TECHNICAL REPORT

RAPPORT TECHNIQUE

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

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

IECNORM.COM: Click to get the full PDF of IEC/TR 61340-5-2:2007



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2007 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

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

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

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

A propos des publications CEI

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

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

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

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

TECHNICAL REPORT

RAPPORT TECHNIQUE

Electrostatics –

Part 5-2: Protection of electronic devices from electrostatic phenomena – User guide

Electrostatique –

Partie 5-2: Protection des dispositifs électroniques contre les phénomènes électrostatiques – Guide d'utilisation

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

XB

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	8
2 Normative references	8
3 Terms and definitions	9
4 ESD control program plan	9
4.1 Developing an ESD control program plan	9
4.1.1 Assignment of an ESD coordinator	9
4.1.2 Determination of part ESD sensitivity.....	9
4.1.3 Initial process and organizational assessment.....	9
4.1.4 Documentation of ESD control program plan	10
4.1.5 Tailoring	11
4.2 Development of a training plan	11
4.2.1 Personnel training	11
4.3 Development of a compliance verification plan.....	13
4.3.1 Introduction	13
4.3.2 ESD control items.....	13
4.3.3 Verification frequency.....	14
4.3.4 Type of verifications	14
4.3.5 ESD control item limits	14
4.3.6 Test methods.....	14
4.3.7 Test equipment.....	15
4.3.8 Auditor skills.....	15
4.3.9 Reporting of audit findings.....	15
4.4 Grounding/bonding systems.....	18
4.4.1 Introduction	18
4.4.2 Basic grounding requirements	18
4.4.3 Additional grounding considerations	20
4.4.4 Verification of ESD grounding system.....	21
4.4.5 Verification of proper installation of ESD control items.....	22
4.5 Personnel grounding	22
4.5.1 System requirements.....	22
4.5.2 Wrist strap system	23
4.5.3 Footwear-flooring system	23
4.6 Protected areas (EPA).....	25
4.7 ESD control items	26
4.7.1 Work surfaces	26
4.7.2 Wrist straps	29
4.7.3 Static protective floor materials	33
4.7.4 Footwear	38
4.7.5 Static protective seating	39
4.7.6 Ionization.....	40
4.7.7 Garments	51
4.7.8 Storage racks and shelving.....	54
4.7.9 Mobile equipment	55

4.8	Packaging electronic products for shipment and storage	56
4.8.1	Introduction and purpose	56
4.8.2	Definitions	56
4.8.3	Selecting/designing the right package	57
4.9	Marking	60
4.9.1	Marking of assemblies and equipment	60
4.9.2	Marking of packaging	61
4.9.3	Other marking considerations	62
Annex A (informative) Example ESD control document based on IEC 61340-5-1		63
Annex B (informative) ESD control element considerations		69
Figure 1 – Example audit report showing current status of ESD program		16
Figure 2 – Example audit report showing target for manufacturing line		17
Figure 3 – Example audit report showing audit trend report		17
Figure 4a – North American electrical power system		19
Figure 4b – Malaysia electrical power system		19
Figure 4c – UK electrical power system – Single phase system		19
Figure 4 – Country-specific electrical power systems		19
Figure 5 – Example of individually grounded benches - Recommended		20
Figure 6 – Example of a series ground connection of benches – Not recommended		21
Figure 7 – Relationship between body voltage and resistance to ground		23
Figure 8 – Voltage reading on person walking across grounded conductive floor whilst wearing two heelstraps		24
Figure 9 – Ionization by alpha radiation		42
Figure 10 – Corona ionization – Positive		42
Figure 11 – Corona ionization – Negative		42
Figure 12 – ESD sensitive part or assembly		61
Figure 13 – Example of a warning label for ESDS		61
Figure 14 – Example of a packaging label		62
Figure 15 – ESD material marking		62
Figure A.1 – Sign indicating special handling conditions		66
Figure A.2 – Label indicating product is ESD sensitive		67
Figure B.1a – Example 1		70
Figure B.1b – Example 2		70
Figure B.1c – Example 3		71
Figure B.1 – Voltage generated for three types of footwear all on the same flooring system		71
Table 1 – Type of wrist strap bands		30
Table 2 – Ionizer selection checklist		46
Table A.1 – ESD control program audits requirements		65

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ELECTROSTATICS –

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

FOREWORD

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

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. 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 61340-5-2, which is a technical report, has been prepared by IEC technical committee 101: Electrostatics.

This version cancels and replaces the first edition, which was issued as a technical specification in 1999. It constitutes a technical revision.

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

This version of IEC 61340-5-2 has been modified to provide guidance for users of IEC 61340-5-1. The text has been arranged to follow the requirements of IEC 61340-5-1 as closely as possible as well as providing specific guidance on each of the requirements of IEC 61340-5-1.

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

Enquiry draft	Report on voting
101/219/CDV	101/233/RVC

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

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

A list of all parts in the IEC 61340 series, 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 maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

The contents of the corrigendum of May 2009 have been included in this copy.

INTRODUCTION

This user guide and has been produced for individuals and organizations that are faced with controlling electrostatic discharge (ESD). It provides guidance that can be used for developing, implementing and monitoring an electrostatic discharge control program in accordance with IEC 61340-5-1.

This user guide applies to activities that: manufacture, process, assemble, install, package, label, service, test, inspect or otherwise handle electrical or electronic parts, assemblies and equipment susceptible to damage by electrostatic discharges greater than or equal to 100 V using the human body model (HBM). The 100 V HBM limit was selected for IEC 61340-5-1 as the baseline susceptibility threshold, since a large majority of the ESD products on the market have a sensitivity of greater than 100 V.

The limits established for each of the ESD control items are specified for an ESD program designed for 100 V HBM devices. The 100 V value is predicated on maximum voltage levels attainable on an individual when they are grounded via techniques accepted throughout the electronics industry as outlined in IEC 61340-5-1.

For organizations concerned with charged device model damage, IEC 61340-5-1 establishes requirements concerning the use of insulators in the ESD protected area (EPA) based on maximum electrostatic field limits. This topic is addressed in more detail in 4.6.

The general principals described in IEC 61340-5-1 are not limited in their applicability to ESDS with ESD sensitivities of 100 V or greater. For companies that handle ESDS with sensitivities of less than 100 V (HBM), the general principals of IEC 61340-5-1 can still be used. The organization may have to modify some of the required limits specified in Tables 2 to 4. The program documentation would then identify that ESDS with sensitivities of less than 100 V HBM were being handled and that this required a change to the limits established in IEC 61340-5-1.

The fundamental ESD control principles that form the basis of IEC 61340-5-1 are as follows:

- a) Avoid a discharge from any charged, conductive object (personnel, equipment) into the device:

This can be accomplished by bonding or electrically connecting all conductors in the environment, including personnel, to a known ground or contrived ground (as on shipboard or on aircraft). This attachment creates an equipotential balance between all items and personnel. Electrostatic protection can be maintained at a potential different from “zero” voltage ground potential, as long as all items in the system are at the same potential.

- b) Avoid a discharge from any charged ESD sensitive device (the charging can result from direct contact and separation or can be field induced):

Necessary insulators in the environment cannot lose their electrostatic charge by attachment to ground. Ionization systems provide neutralization of charges on these necessary insulators (circuit board materials and some device packages are examples of necessary insulators). Assessment of the ESD hazard created by electrostatic charges on the necessary insulators in the work place is required to ensure that appropriate actions are implemented, according to the risk.

- c) Once outside of an electrostatic discharge protected area (hereafter referred to as an EPA) it is often not possible to control the above items, therefore, ESD protective packaging may be required.

ESD protection can be achieved by enclosing ESD sensitive products in static protective materials, although the type of material depends on the situation and destination. Inside

an EPA, low charging and static dissipative materials may provide adequate protection. Outside an EPA, low charging and static discharge shielding materials are recommended. While all of these materials are not discussed in this standard, it is important to recognize the differences in their application.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 61340-5-2:2007

Withdrawn

ELECTROSTATICS –

Part 5-2: Protection of electronic devices from electrostatic phenomena – User guide

1 Scope

This technical report has been developed to support IEC 61340-5-1.

The controls and limits referenced in this standard were developed to protect devices that are susceptible to discharges of 100 V or greater using the human body model test method. However, the general concepts are still valid for devices that are susceptible to discharges of less than 100 V.

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)*

IEC 61340-2-1 – *Electrostatics – Part 2-1: Measurement methods – Ability of materials and products to dissipate static electric charge*

IEC 61340-2-3 – *Electrostatics – Part 2-3: Methods of test for determining the resistance and resistivity of solid planar materials used to avoid electrostatic charge accumulation*

IEC 61340-4-1 – *Electrostatics – Part 4-1: Standard test methods for specific applications – Electrostatic resistance of floor coverings and installed floors*

IEC 61340-4-3 – *Electrostatics – Part 4-3: Standard test methods for specific applications – Footwear*

IEC 61340-4-5 – *Electrostatics – Part 4-5: Standard test methods for specific applications – Methods for characterizing the electrostatic protection of footwear and flooring in combination with a person*

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

ANSI/ESD STM2.1, *Standard Test Method for the protection of electrostatic discharge susceptible items – Garments*

ANSI/ESD STM3.1, *Standard Test Method for the electrostatic discharge susceptible items - Ionization*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions of IEC 61340-5-1 apply.

4 ESD control program plan

This clause outlines a step-by-step approach that can be used to establish an ESD control Program.

4.1 Developing an ESD control program plan

4.1.1 Assignment of an ESD coordinator

In order to have a well thought out and implemented ESD program an ESD coordinator must be assigned. The ESD coordinator is responsible for all aspects of ESD in the facility. In order to be effective the ESD coordinator needs:

- a) the full support of management;
- b) a good understanding of electrostatics and how ESD sensitive devices can be damaged. The ESD coordinator will often need to attend educational classes or seminars related to ESD in order to maintain or update their knowledge;
- c) a thorough understanding of IEC 61340-5-1 and all of the organization's processes related to the handling of ESD sensitive devices.
- d) access to measuring equipment for the purposes of performing compliance verification audits as well as testing new ESD products and materials for use in the ESD program;
- e) depending on the size of the facility, the ESD coordinator might also need to have auditors assigned to conduct the ESD audits.

Finally, management must provide the ESD coordinator with the authority and funding necessary to ensure that the ESD control program is maintained and enforced.

4.1.2 Determination of part ESD sensitivity

The next step in developing an ESD control program plan is to determine the part, assembly or equipment sensitivity level under which the plan is to be developed. Although the requirements outlined in IEC 61340-5-1 are effective for handling parts sensitive to 100 V HBM or higher, the organization may choose to develop an ESD program based on ESD sensitivities that are greater or less than 100 V HBM. In this situation, the organization must develop an ESD control program plan that clearly states the ESD sensitivity that the program is based on.

The organization can use various methods to determine the ESD sensitivity of the products that are to be handled. Some of the methods include:

- assumption that all ESD products have an HBM sensitivity of 100 V;
- actual testing of ESD sensitive devices to establish the ESD sensitivity thresholds using IEC 60749-26;
- referencing ESD sensitivity data in published documents such as manufacturer's published data sheets.

4.1.3 Initial process and organizational assessment

Before the ESD control program plan can be developed, an initial assessment of the processes and organizations impacted by an ESD control program should be conducted. Organizations and processes that might be affected include:

- purchasing;

- design engineering;
- receiving inspection;
- quality assurance;
- manufacturing;
- testing;
- maintenance;
- packaging and shipping;
- field service;
- failure analysis;
- repair services;
- spare parts storage;
- material handling and parts conveyance;
- receiving.

An assessment of each area where ESDS parts are handled should be conducted in order to determine ESD hazards and possible ESD process procedures. The information accumulated throughout these steps forms the basis for developing the ESD control program plan.

4.1.4 Documentation of ESD control program plan

After gathering the above information, the organization is in a position to begin documenting the program plan. The plan should state the scope of the program which includes the tasks, activities and procedures necessary to protect the ESD sensitive items at or above the ESD sensitivity level chosen for the plan. Although the primary focus of the plan is to outline strategies for meeting the administrative and technical elements of IEC 61340-5-1, other items may be beneficial to incorporate as well. These additional items might include:

- organizational responsibilities;
- defined roles and responsibilities between the organization and subcontractors and suppliers;
- strategies for monitoring product yields and processes that might be important in determining the effectiveness of ESD control measures currently in place or in assessing whether additional measures should be taken;
- approaches for ensuring continual improvement of the ESD program;
- a list of approved ESD control products and materials.

The administrative and technical elements of IEC 61340-5-1 that need to be addressed in the plan (unless tailored) include:

- training plan;
- compliance verification plan;
- technical requirements;
- grounding/bonding systems;
- personnel grounding;
- protected areas;
- packaging;
- marking.

4.1.5 Tailoring

It is possible that portions of IEC 61340-5-1 may not apply to all areas within an organization. In these situations it is acceptable for the organization to document an exception to one or more of the required elements of IEC 61340-5-1 as long as there is a valid, substantiated and documented justification for the exception. An example of an acceptable exception to IEC 61340-5-1 can be found in the sample ESD program at the end of this standard.

4.2 Development of a training plan

4.2.1 Personnel training

Personnel training is a critical element in the implementation of an ESD control program. A sustained commitment and mindset among all personnel that ESD prevention is a valuable, on-going effort by everyone is one of the primary goals of training.

One of the first decisions that must be made is who will be required to take the ESD training course. IEC 61340-5-1 requires that, at a minimum, initial and recurrent ESD training shall be provided to all personnel that handle or otherwise come into contact with ESD sensitive items. This decision seems straight-forward but care shall be taken to ensure that all people that handle ESD sensitive devices receive adequate training. One example is the finance department. Many people will immediately state that this group should be exempt from ESD training. However, in some companies the finance department personnel are involved in the annual physical inventory where parts are counted. In these situations, the finance employees are touching ESD sensitive parts and therefore must receive ESD training in order for the organization to be in compliance with IEC 61340-5-1.

Although it is not a requirement of IEC 61340-5-1, the organization may want to consider providing some form of ESD training to personnel who do not handle ESD sensitive parts such as:

- managers, who may need to understand the implications of, and necessity for ESD prevention;
- cleaning and maintenance personnel who may need to work within the EPA; and
- purchasing personnel responsible for buying ESD susceptible parts and ESD equipment.

For visitors to the EPA, the person escorting the visitor is responsible for ensuring that they are wearing the ESD equipment required by the organization and that they understand what they may and may not do within the EPA.

Although personnel training can take several forms (i.e. instructor, computer based, etc.), the preferred technique for initial training is through the use of an instructor. Special care should be exercised in finding a "suitable" instructor. The instructor should have a good understanding of ESD theory and the organization's ESD control program and the processes, procedures and materials prescribed within. In addition, if manufacturing spans more than one culture, careful consideration shall be given to customs and religious beliefs. Besides cultural differences, other factors such as education, experience and age should be considered. All training should be carried out in a secure, non-threatening environment.

One of the first steps is to determine the type(s) of ESD training methods that will work best for the organization. Some possible training methods include:

- in-house, instructor-led ESD class;
- in-house, consultant-led class;
- computer based training;
- industry symposia, tutorials and workshops.

The initial training program should cover the fundamentals of ESD, the details of the organization's ESD control program plan, and each person's role in the ESD program. The training program should answer the following basic questions:

- what is static electricity?
- how does it occur?
- how does ESD affect product quality?

A careful explanation of the protection process as part of company policy should be included. No matter which type of training method is chosen, the program should be designed so that all trainee questions that arise can be answered. In addition, a knowledgeable person in the organization should be available to answer trainee questions once they have begun working. Opening the lines of communication is the beginning of a successful ESD training program. This type of communication should continue in the workplace and form the basis for an ongoing education process. It is a requirement in IEC 61340-5-1 that initial ESD training is provided before personnel handle ESD sensitive devices.

Because ESD control programs cover such a variety of job disciplines and educational levels, it may be necessary to develop special job specific training modules. Advanced modules should emphasize the main concerns of each discipline. Course emphasis should be tailored to each group's specific needs. For example, the modules developed for management, engineering, technicians, cleaning staff and field service could differ significantly because their day-to-day concerns and responsibilities are much different.

Ongoing or refresher training is also vital to any organization's training plan. It should reinforce the basic fundamentals taught during initial training, but also should incorporate program updates and changes and the reasons for those changes. As with the initial training, the organization shall decide which type of training will be used and how frequently the recurring training will be required. The method chosen should keep everyone informed, renewing his or her commitment to the total ESD effort. Recurring training is also a good feedback loop for monitoring the program's effectiveness. Personnel should be encouraged to discuss issues, and make suggestions for improvement in these sessions. Actions can then be assigned to improve the organization's overall ESD control program.

After training (initial or recurring) sessions have been completed, it is important to ensure that the trainee understands and has retained the ESD control program concepts taught during these sessions. IEC 61340-5-1 requires that an objective evaluation technique be incorporated as part of the training plan. This can be accomplished in a number of ways that include written tests, question and answer sessions with an instructor or multiple choice questions at the conclusion of a computer based training session. Regardless of the method selected, the organization should establish a pass/fail criterion for the testing to ensure adequate training has been accomplished. Records of all test results should be maintained. The test records should be stored such that they are readily available to management and customers who want objective evidence that the training portion of the ESD control program plan is being adhered to.

Finally, since IEC 61340-5-1 requires recurring or "refresher" training, a system should be established to highlight when employees are due for retesting and/or recertification.

A repository or central information source of educational ESD control materials should be kept for reference at anytime by organization employees. This repository might include:

- material from initial and recurring training sessions;
- ESD bulletins or newsletters;
- videos or CDs;
- computer-based training materials;
- technical papers, studies, standards and specifications;

- ESD control material and equipment product sheets.

4.3 Development of a compliance verification plan

4.3.1 Introduction

This subclause will discuss the importance of having a properly implemented compliance verification plan and its role in maintaining a successful ESD control program.

In order for the ESD control program to be successful it is essential to develop a plan for on-going surveillance. The plan shall identify

- the ESD control items that will be used,
- how often the item will be checked to ensure that it meets specification and the type of audits,
- the acceptable limits for each ESD control item used,
- the test methods that will be used by the auditors to verify that each ESD control item is within established parameters,
- the equipment that will be used to check the various ESD control items,
- who will make the audit measurements,
- what will be done if an out of compliance situation occurs.

4.3.2 ESD control items

There are many ways to establish an ESD control program. A program can range from a very simple, low cost or basic system to a highly complex control program that uses a variety of control items that provide redundancy in the event that the primary ESD control element(s) were to fail.

A basic ESD control program might include the following items:

- a) a grounded work surface;
- b) personnel grounded through a wrist strap system;
- c) ESD protective packaging to move ESDS from one process step to the next.

A complex ESD control program might include the following items:

- 1) grounded work surfaces;
- 2) personnel grounded through constant wrist strap monitor;
- 3) personnel grounded to a static control floor through ESD footwear;
- 4) personnel wearing grounded ESD garments;
- 5) air ionization at each workstation.

The decision to use a basic versus a complex ESD control program is a matter of company choice. Some of the considerations are: value of the products being manufactured, product reliability requirements imposed by the customer and the ESD sensitivity of the devices being handled. One type of program is not necessarily any better than the other as each can be effective in protecting ESD sensitive devices.

Once the ESD control items have been defined and implemented, the organization should develop an audit checklist. In order to establish meaningful data concerning improving or deteriorating ESD program trends, it is necessary for auditors to audit each area consistently every time. Many organizations find that properly designed checklists help improve audit consistency.

4.3.3 Verification frequency

The frequency for checking the function of ESD control elements is dependent on a number of factors such as how often the item is used, the item's durability and the impact on the ESD control program if the control item were to fail. As an example, wrist straps are often used as the primary ground for personnel. A wrist cord, whilst being worn, is subjected to thousands of stretch/bend cycles each day and the conductive wire(s) in the wrist cord will eventually break. The typical verification frequency, used by industry, for wrist cords is once per shift due to the wrist cord's importance to the success of the program and the likelihood of failure.

Some organizations may want to increase the time between verifications of an ESD control item after it has been in use for a period of time. This is typically done by monitoring the failures of the ESD control item. Once the organization has evidence that there is an acceptable period of time where no failures were found, the time between verifications can be increased. The new verification interval is then monitored. If an unacceptable level of failures is identified, then the verification frequency should revert back to the previous level.

4.3.4 Type of verifications

There are several types of verifications in use by industry today. These verifications are often used in combination to maximize the effectiveness of the ESD program.

4.3.4.1 Visual verifications

Visual verifications are used by companies to check the general state of the EPA. They can be used by employees at the start of the shift to ensure that all ground wires are in place and that unnecessary static generators have been removed from the workplace. Visual verifications can also be used by management and supervisory personnel to ensure that employees are following organization guidelines with respect to daily testing of wrist straps, the proper wearing of ESD garments and the correct wearing of wrist straps and ESD footwear. A visual verification is often a good indication of whether or not an ESD program is being followed.

4.3.4.2 Measurement verifications

Most organizations rely on verifying that the ESD control elements function through the use of actual measurements. These types of verifications are carried out by specially trained auditors using equipment that has been selected to properly measure each ESD control element. Some organizations measure 100 % of each control element in use throughout the factory while others perform verifications on a sample basis. The type of verification used is up to the organization implementing IEC 61340-5-1 as long as it proves to be effective.

4.3.5 ESD control item limits

In the past, many companies were forced to develop their own test procedures and establish the limits for the ESD control items that they used. However, ESD control has advanced to the point where there are generally accepted limits for many of the ESD control items that are used. Establishing an ESD program around the limits found in IEC 61340-5-1 will drastically reduce the possibility that 100 V (HBM) sensitive devices will be damaged by an ESD event.

There might be instances where the limits must be tightened. An example of this situation occurs when the organization designs an ESD program around a device with an ESD sensitivity of less than 100 V.

4.3.6 Test methods

In order to implement IEC 61340-5-1, it is a requirement that the organization follows the test methods or standards specified in Tables 1 to 4 of IEC 61340-5-1. It is recognized that some organizations have developed their own test methods or use other standard methods for verifying some of the ESD control elements. This is allowed under IEC 61340-5-1. If the

organization does not use the standards referenced in IEC 61340-5-1, a tailoring statement shall be included in the ESD control program plan that describes the reason for not using the referenced standards. The organization shall also be able to reliably demonstrate that the test methods used are suitable.

The test methods listed in the tables are intended primarily for qualifying products and materials for use by an organization. A modified version of the test method is often used by the organization for making audit measurements that comply with IEC 61340-5-1.

It is very important that everyone involved in auditing the ESD control program understands how the audit measurements are to be made. The organization shall develop procedures for making each of the audit measurements. The organization shall also ensure that everyone involved in taking measurements understands the audit procedures.

4.3.7 Test equipment

It is very important that the organization selects the proper equipment for making compliance verification measurements. It is best to select equipment that complies with the equipment specified in the individual IEC test methods or standards referenced in Tables 1 through 4 of IEC 61340-5-1. Each of the auditors shall be trained in how to properly use the measuring equipment.

4.3.8 Auditor skills

As part of developing an ESD program that is compliant with IEC 61340-5-1, it is important that the right people be selected to audit the ESD program. Some considerations for selecting internal auditors include the following:

- The internal auditor shall be familiar with IEC 61340-5-1 as well as the organization's specific ESD program.
- The internal auditor should also understand how the ESD control program fits into the organization's quality management system. ESD audit findings are one example. How does the organization handle non-conformances found during audits? How are ESD audit findings documented? Are corrective action reports generated? Prior to closing a corrective action, does the auditor verify that the audit finding has been corrected?
- It is preferred that the internal auditor has received training on how audits are conducted. ISO 9000¹ auditor training provides a good basis for all process auditors.
- The ESD auditor should have a good understanding of the manufacturing processes that they will be auditing.

4.3.9 Reporting of audit findings

It is important to keep management informed about the status of the ESD program. This can be accomplished through issuing reports at the completion of an audit. The ESD coordinator will need to classify the severity of each non-conformance. Major non-conformances should be addressed before those considered to be minor in nature. For significant ESD non-compliance issues, management should be notified immediately so that proper resources can be assigned to correct the problem.

There are many ways to make management aware of the ESD findings. Audit charts are commonly used to report the audit results. The chart, at a minimum should identify:

- the number of audit findings;
- the type of finding;
- the area audited.

¹ ISO 9000, *Quality management systems – Fundamentals and vocabulary*.



IEC 957/07

Figure 1 – Example audit report showing current status of ESD program

The information contained in Figure 1 shows management the current status of the ESD program and the items that are the largest source of non-conformances. However, Figure 1 does not tell management whether the program is being adhered to. Many organizations establish audit targets for the total number of findings allowed in a given area. Figure 2 includes targets for the manufacturing line. As can be seen in Figure 2, the manufacturing line has greatly exceeded the established ESD targets. This information further assists management in determining whether or not the ESD program is being followed.

A final enhancement to the report is an audit trend report. This information shows management the status of the audited area over time. An example of a trend chart can be found in Figure 3.

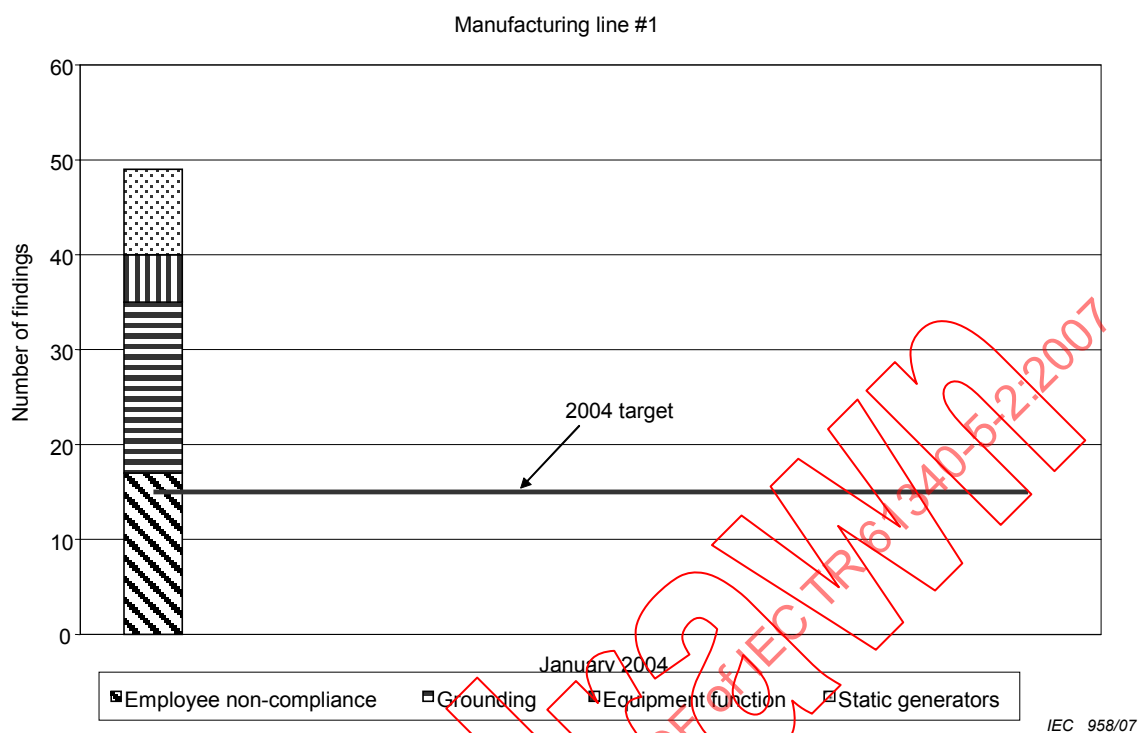


Figure 2 – Example audit report showing target for manufacturing line

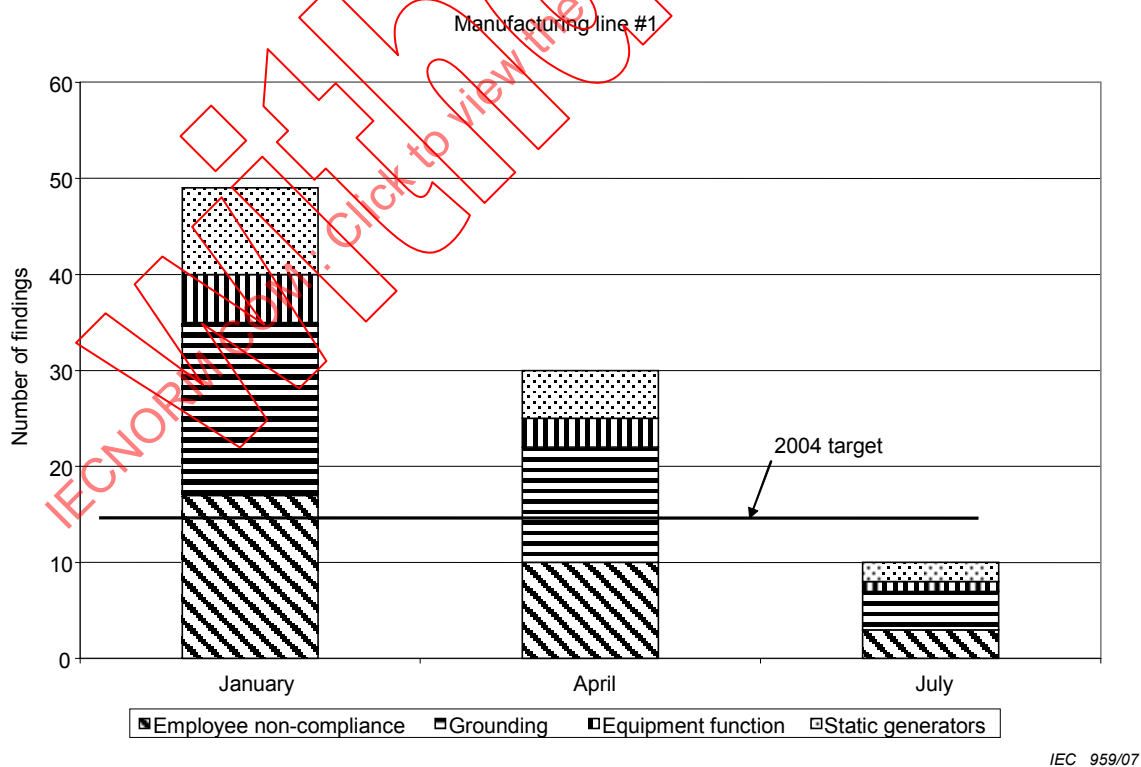


Figure 3 – Example audit report showing audit trend report

4.4 Grounding/bonding systems

4.4.1 Introduction

The protection of ESDS is accomplished by providing a ground path to bring ESD protective materials and personnel to the same electrical potential. All conductor and dissipative items in the environment, including personnel, shall be bonded or electrically connected to a known ground or common connection point. This connection results in a sharing of charge which equalizes the voltage across all items and personnel and eliminates the chances of an ESD event to ESD sensitive devices. Electrostatic protection can be maintained at a potential different from a "zero" voltage ground reference as long as all items in the system are at the same potential.

NOTE It is important to understand that insulators cannot lose their electrostatic charge by connection to ground. The handling of insulators is dealt with in 4.6 d).

This subclause provides guidance and procedures needed to establish an effective path to ground. This discussion is limited to grounding for ESD purposes.

4.4.2 Basic grounding requirements

The first step in ensuring that everything in an EPA is at the same electrical potential is to ground all conductive components of the work area (work surfaces, people, equipment, etc.) to one of the following points.

4.4.2.1 Protective earth or functional ground

The electrical ground reference (protective earth) for ESD purposes utilizes the equipment grounding conductor which is a part of the electrical power system. Using protective earth as a ground reference for ESD control items ensures that the ESD control items and all powered electrical equipment are at the same potential. The following diagrams (Figures 4a, 4b and 4c) show the equipment grounding conductor as it is used in three different electrical power systems. When using this type of ground reference, the ESD control items used by an organization are connected to the equipment grounding conductor.

In situations where the organization does not wish to use the equipment grounding conductor or an equipment grounding conductor is not available, a functional ground can be used. The functional ground is a separate earth grounding electrode that is used as the ground reference for all the ESD control items used by the organization. It is recommended that, if possible, the functional ground system be bonded to the electrical ground system (when available) in order to eliminate differences in potential between the two grounding systems.

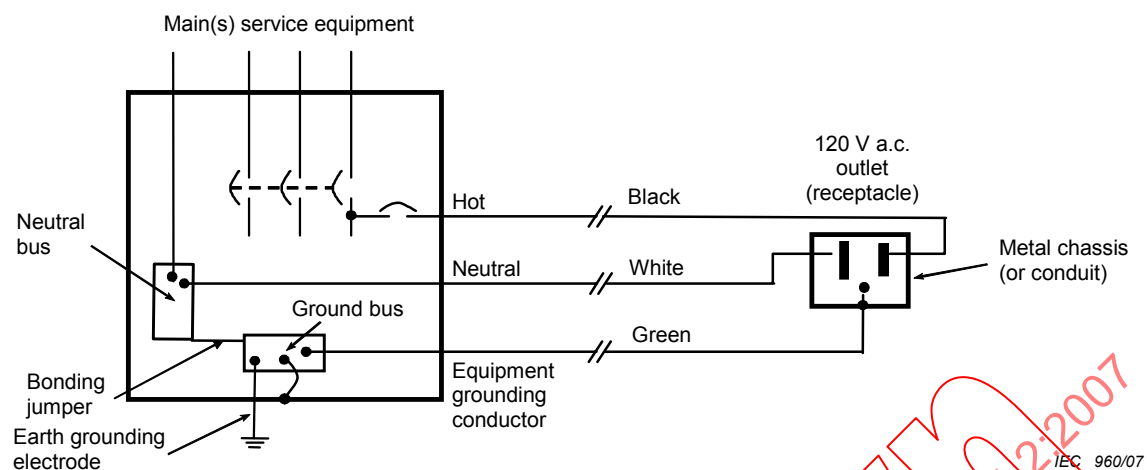


Figure 4a – North American electrical power system

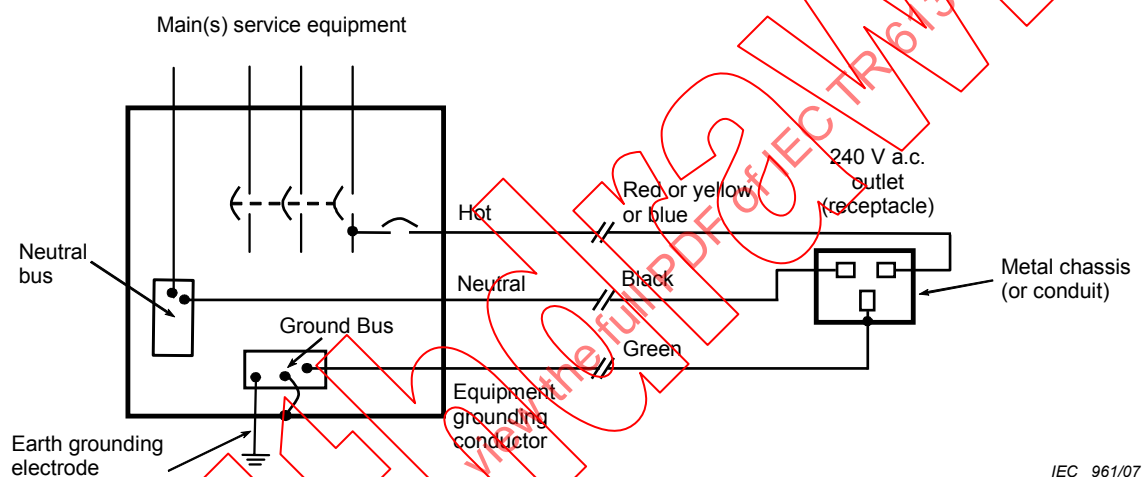


Figure 4b – Malaysia electrical power system

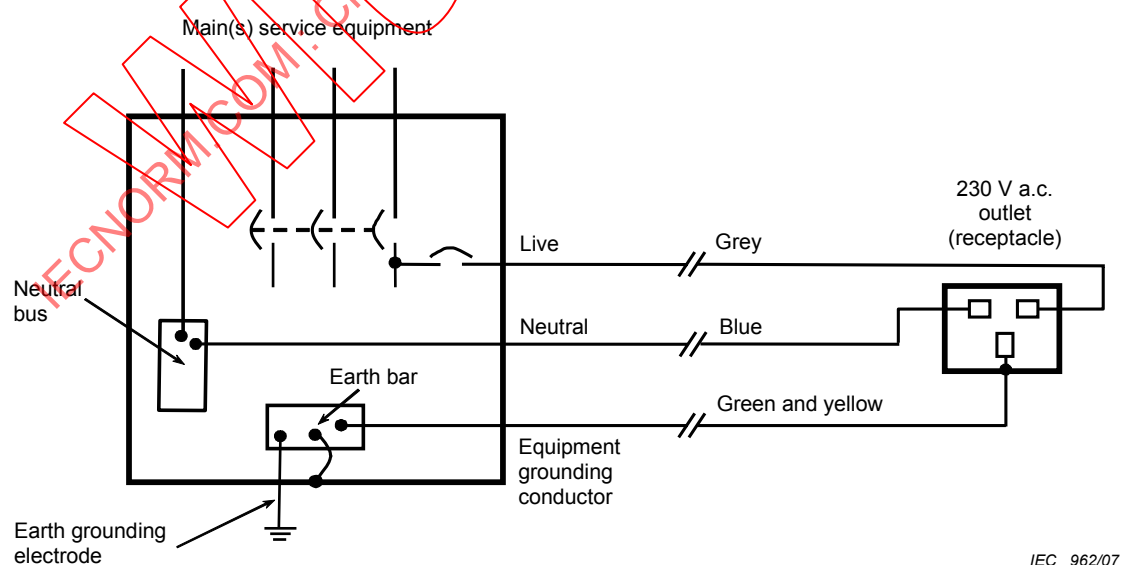


Figure 4c – UK electrical power system – Single phase system

Figure 4 – Country-specific electrical power systems

4.4.2.2 Common connection point (equipotential bonding)

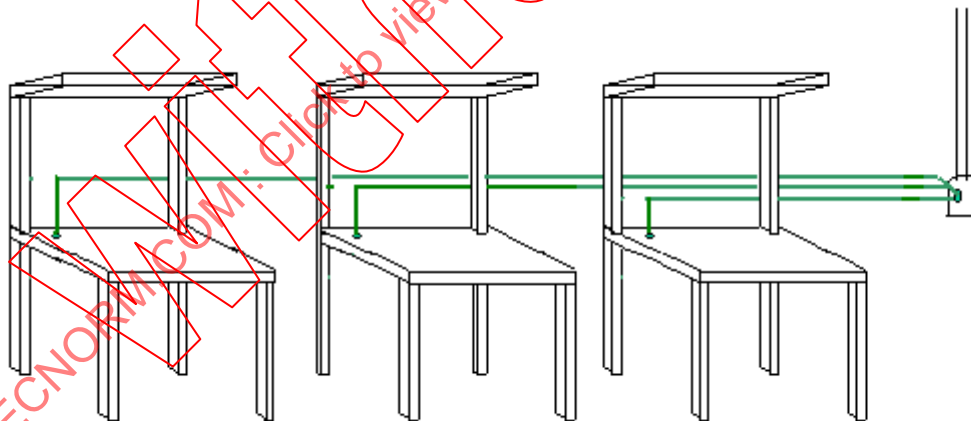
Where a ground system is not available, an ESD control program can still be established by connecting all of the ESD control items and other large conductors together at a common connection point. The common connection point is not connected to ground, but the items attached to the common connection point will all be at the same potential, which minimizes the chance of the ESDS being damaged. The common connection point can be a single conductive point where the grounding wires of each of the ESD control items are attached or it can be a large conductive element such as the metal frame of a workstation.

A real life example of this is often observed in office equipment field service operations. For safety reasons, the service technician will often disconnect the AC power cord which detaches the equipment from ground. In order to install ESD sensitive boards or components into the equipment it is necessary to electrically connect or bond together the service technician, the equipment frame and the ESD sensitive product. Once bonded together, an ESD event will not occur between bonded items when the technician handles the product or installs it in the office equipment.

4.4.3 Additional grounding considerations

Aircraft, ships and surface vehicles typically have a ground bus or ground conductor that is suitable for use as an ESD ground. This scenario is similar to the equipotential bonding situation.

It is a good practice for each grounded work surface to be directly connected to ground. Figure 5 is an example of the recommended method. Many companies however connect work surfaces to ground in series as shown in Figure 6. Connecting the work surfaces together in series can lead to a situation where multiple work surfaces become detached from ground if the single grounding wire breaks and therefore this type of grounding method is not recommended.



IEC 963/07

Figure 5 –Example of individually grounded benches – Recommended

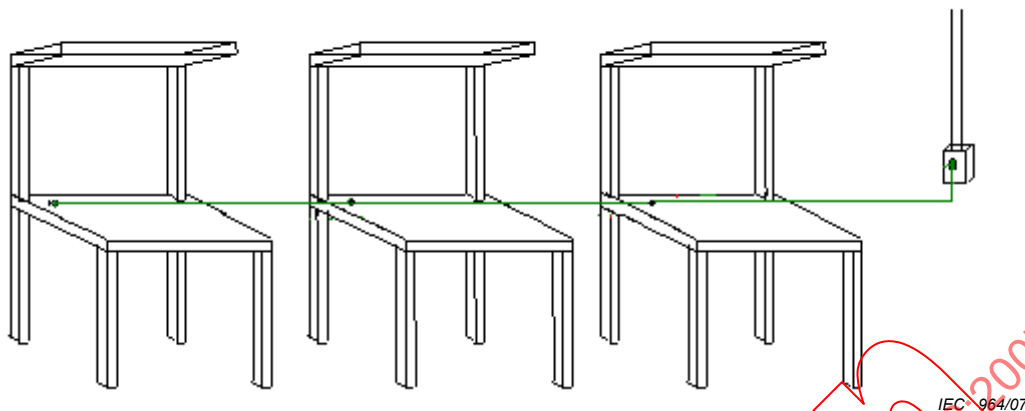


Figure 6 – Example of a series ground connection of benches – Not recommended

4.4.4 Verification of ESD grounding system

4.4.4.1 Protective earth

For ESD control programs that use the equipment grounding conductor to ground the ESD control items it is necessary to verify the integrity of the electrical system. The values used can vary depending on the electrical code requirements in each country. However, there are certain items that should be checked for any ESD control program that uses the equipment grounding conductor.

- The impedance of the equipment grounding conductor should meet national electrical code requirements.
- The electrical system is correctly wired to ensure that the ESD control items are attached to ground and not an energized portion of the electrical system.

4.4.4.2 Functional ground

When a functional ground is used it is necessary to verify that the ground rod system meets national electrical codes for such systems. Some of the items that might require testing include:

- soil resistivity;
- resistance to ground;
- resistance of the grounding electrode.

4.4.4.3 Equipotential bonding

Where an equipotential bonding system is used, it is important to verify that the common connection point is sufficiently conductive. The resistance of the common connection point between any two ESD control item connections should be less than $1\ \Omega$ when measured using a DC ohmmeter capable of measuring resistance from $0,1\ 1\ \Omega$ through $1 \times 10^6\ 1\ \Omega$ with a minimum open circuit voltage of 1,5 V.

4.4.5 Verification of proper installation of ESD control items

Once the ESD ground reference has been verified it is important to ensure that each of the ESD control items used is connected to the ground reference. First ensure that each ESD control item is connected to the ground reference. Next, using the test method or standard and limits for each ESD control item given in Tables 2 and 3 of IEC 61340-5-1, verify that the resistance to ground (or to the common connection point) meets the required limit.

4.5 Personnel grounding

Personnel grounding is a critical technical element required in IEC 61340-5-1 and shall be addressed any time personnel are involved with the handling of unprotected ESD sensitive devices. There are two means by which this requirement can be met. The first is by use of a wrist strap system and the second is by use of a flooring/footwear system. The choice is dependent on several factors that include the physical actions and surroundings of the individual as well as the potential cost of each alternative. Both system techniques include the person, the control items (i.e. wrist strap, flooring, and footwear) and the connection to ground. Wrist strap, flooring and footwear types, uses, and other key information about each are described in 4.5.2 and 4.5.3.

4.5.1 System requirements

Electrostatic charge can accumulate on the body through movement. The charge results in an electrostatic potential or voltage between the body and ground. This can be damaging if discharged to ESDS. The procedures outlined in IEC 61340-5-1 are designed to protect devices sensitive to human body model voltages of 100 V or greater. To maintain a person's body voltage to less than 100 V, the body shall be electrically connected to ground or differences in potential shall be eliminated by bonding all of the ESD control elements together.

With a grounded system, there shall be some degree of assurance that the body voltage remains below 100 V when connected in series with a resistance to ground. This resistance is a key factor in limiting the voltage observed on the body. For a given body movement, the voltage achieved increases with resistance. Tests conducted by IEC technical committee 101 have shown that a resistance of $3,5 \times 10^7 \Omega$ or less is necessary to limit body voltage to less than 100 V. Figure 7 shows the relationship between body voltage and resistance to ground.

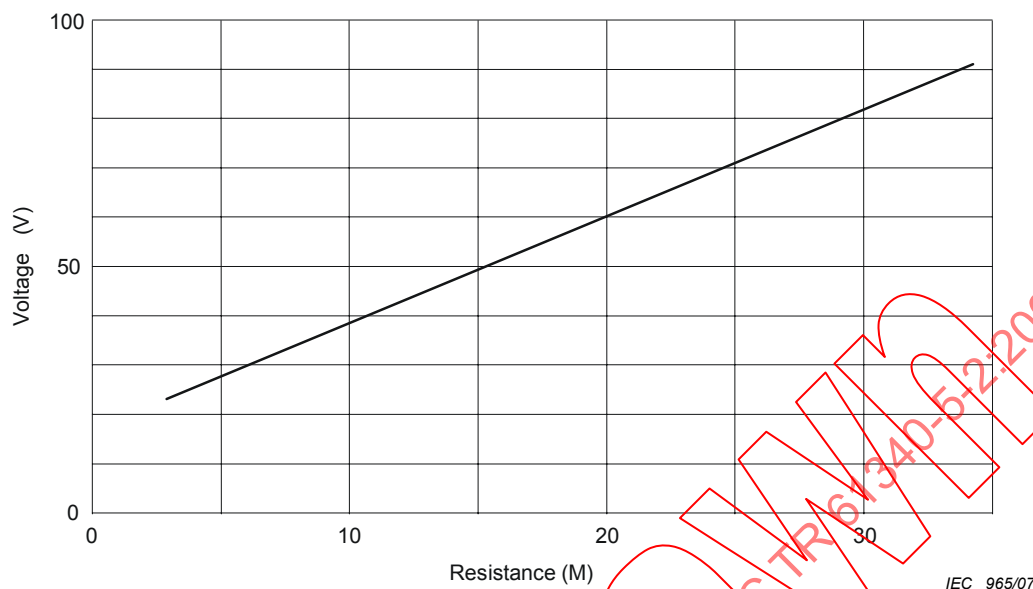


Figure 7 – Relationship between body voltage and resistance to ground

4.5.2 Wrist strap system

A wrist strap system consists of three elements: the person, the wrist cord and a wrist band. To ensure that the resistance to ground of personnel is within the specifications, it is important to measure the entire system (i.e. from the person's body to the end of the ground cord).

A wrist strap assembly is the most commonly used means of grounding personnel. A wrist strap is required in IEC 61340-5-1 for operations where the individual is seated while handling or processing ESD sensitive items or components. The reason for this requirement is that floor and footwear systems may not provide reliable contact with ground since the person's feet may not be in contact with the floor at all times while seated.

While a wrist strap assembly will ground a person when standing, often the grounding cord will become a physical impediment to the wearer. In these situations organizations will often rely on a flooring/footwear system to ground their employees.

4.5.3 Footwear-flooring system

Personnel may also be grounded through use of a flooring and footwear system. This method is useful when personnel require mobility or stand in areas where wrist straps are not feasible and ESDS items must be handled or transported. The ground path is maintained through the use of dissipative or conductive floors and dissipative or conductive footwear. Footwear-flooring systems may be installed to provide a back-up ESD control item for personnel grounded with a wrist strap system.

When footwear-flooring systems are used as the only grounding system for personnel, the resistance to ground including the person, footwear and floor shall be the same as specified for wrist straps ($< 3,5 \Omega \times 10^7 \Omega$) at all times. If a higher resistance footwear-flooring system is used the total resistance to ground shall be less than $1,0 \Omega \times 10^9 \Omega$ and the maximum voltage on a person shall be less than 100 V (average of the five highest peaks) under worst case conditions.

Some of the ESD footwear options include ESD control shoes, sole and heel grounding straps and shoe covers. If the ESD footwear does not completely cover the underside of the foot charge generation may occur, especially when a person is walking. An example of this occurs with the use of heelstraps. The following chart (Figure 8) shows the voltage on a person's body as they walk across a grounded conductive floor while wearing two heelstraps. The voltage on the person's body is not controlled because the heelstrap is not in continuous contact with the conductive flooring surface.

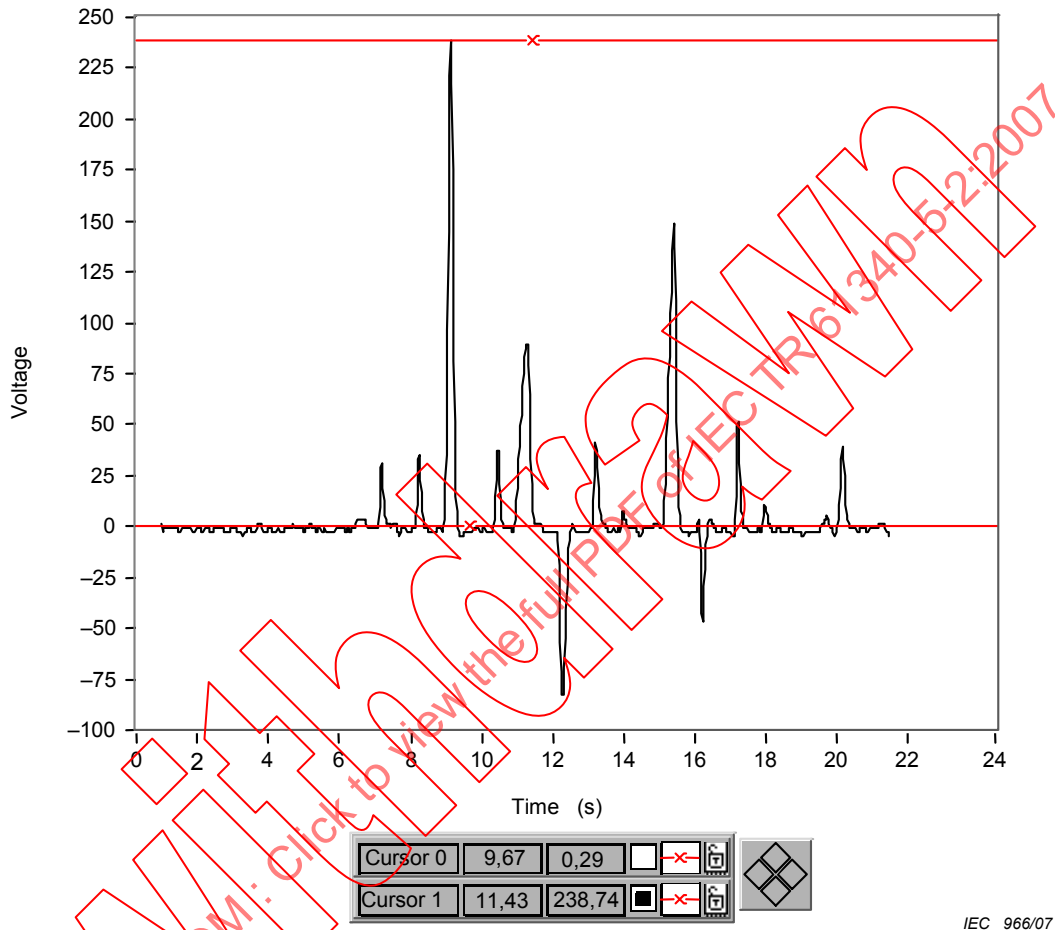


Figure 8 – Voltage reading on person walking across grounded conductive floor whilst wearing two heelstraps

Heelstraps can still be an effective part of an ESD control program when used for standing operations providing a strap is worn on each foot, and the ESD risk due to occasional loss of the ground connection is assessed to be acceptable. They should not be used in any process where unprotected ESDs are transported inside the EPA by hand.

Two test methods are used to measure the footwear-flooring system in combination with a person. IEC 61340-4-5 was developed to measure:

- The electrical system resistance of floor materials in combination with a person wearing static control footwear. This test can be used to evaluate systems prior to installation or it can be used with installed floors. This test method can be used to characterize any ESD protective floor material. These include all floor coverings (e.g. tiles, carpets, epoxies, laminates, mats, paints/coatings or floor finishes).
- The second test method provides a way to characterize the ESD behaviour of floor materials and footwear by measuring the charge generation of the floor, footwear and

person as a system. This test method can be used to evaluate systems prior to installation or it can be used with installed floors. This test method can be used to characterize any ESD protective floor material. These include all floor coverings (e.g. tiles, carpets, epoxies, laminates, mats, paints/coatings or floor finishes).

4.6 Protected areas (EPA)

An ESD protected area (EPA) is an area that is equipped with the ESD control items required to minimize the chance of damaging ESD sensitive devices.

In the broad sense, a protected area is capable of controlling static electricity on all the items that enter that work area. Personnel and other conductive or dissipative items shall be electrically bonded together and connected to ground (or a common connection point when a ground is not available) to equalize electrical potential among the items. The size of an EPA can vary greatly. A protected area may be a permanent workstation within a room or an entire factory floor encompassing thousands of workstations. A protected area may also be a portable worksurface or mat as used in a field service situation.

IEC 61340-5-1 places several requirements on the handling of ESDS devices as follows:

- a) ESD sensitive devices shall be handled inside an EPA. This means that at any operation where unprotected ESDS are handled, all of the items that potentially could come into contact with ESDS shall either be connected to the defined ESD ground or connected together to form an equipotential bond. If the ESD sensitive device must leave the EPA, it shall be protected from damage. ESD protective packaging or specially designed carrier can be used to transport ESDS devices from one EPA to another.
- b) An EPA shall have a well defined boundary. Appropriate signs and markings shall identify protected areas so that all people entering the area, including visitors, are aware that special precautions are needed. Some examples of appropriate signs/markings are physical signs, floor tape outlining the border of the EPA, different coloured floor tiles or any other method that defines the border of an EPA. The organization shall ensure that ESD awareness training clearly describes to the new employee the rules for the EPA and how it is identified.
- c) Access to the EPA is restricted to personnel who have successfully completed ESD training. In situations where suppliers, customers, new employees or other visitors need to enter into the EPA, they shall be escorted by a person who has completed ESD awareness training.
- d) The organization shall ensure that non-essential insulators are removed from all EPAs. Insulators required as part of the manufacturing process shall be checked to determine whether or not they pose a threat to ESD sensitive devices. IEC 61340-5-1 has identified two methods that are currently used throughout the world for handling process required insulators.
 - 1) Some organizations measure the strength of the electrostatic field at the point or position where ESDS are handled. In this situation, the field strength shall not exceed 10 000 V/m.
 - 2) Other organizations measure the field on the individual items that are brought into the EPA. In these situations the electrostatic potential of the item is measured at a pre-set distance from the insulator (per the meter's operating instruction). For this type of measurement the maximum acceptable potential is 2 000 V. If the measurement exceeds 2 000 V, then one of the following must occur:
 - i) the insulator shall be kept a minimum of 30 cm from the ESDS;
 - ii) if it is not possible to maintain the 30 cm distance, the organization will use ionization or other methods to reduce the levels of charge generated in the process. The use of chemical treatments on the surface of insulating materials or the addition of humidity controls inside the EPA are two possible methods, in addition to ionization, that can be used to reduce the levels of measured electrostatic fields to acceptable levels.

4.7 ESD control items

The following subclauses describe some of the various ESD control items that can be used when developing an ESD control program that is compliant with IEC 61340-5-1.

4.7.1 Work surfaces

4.7.1.1 General remarks

Work surfaces play a critical role in the design and implementation of an EPA. Work surfaces designed for ESD control are used in production and repair areas as well as in field service. Most areas where unprotected ESDS are handled, repaired or tested require some form of a work surface designed to dissipate electrostatic charges. The work surface is a major component in establishing a local static safe work environment. The work surface is considered by most of the industry to be the second most important element of an ESD control program, personnel grounding being most important.

The main purpose of a properly grounded work surface is to ensure that the items being handled and the work area are at the same electrical potential. Work surfaces provide the following functions:

- a work surface designed for control of static electricity provides an electrical path to ground or a common connection point in the case of an equipotential bonding situation. This allows non-insulative items placed on the work surface to discharge in a controlled manner;
- the work surface in some cases may define the boundary of an ESD work area in which ESDS can be handled.

4.7.1.2 Factors in selecting work surfaces

There are several factors to be considered in selecting an appropriate work surface. The major factors are the following:

- work area activities;
- permanency of the work area;
- physical considerations;
- chemical considerations;
- electrical considerations;
- safety considerations;
- material maintenance.

4.7.1.2.1 Work area activities

The type of work being performed at the location will determine the type of work surface that is required. If the items being handled are sensitive to mechanical shock, then a cushioning work surface material may be required. If heavy products with sharp edges are moved around the work surface, then a more durable surface may be necessary. Operations where personnel are exposed to high voltages may require the use of work surfaces that will limit the current if the power source comes into contact with the work surface. Work surfaces used in cleanrooms may also require special consideration, including particulate contamination and outgassing properties. Flammability of work surface materials may need investigation to satisfy corporate requirements, insurance carriers, or safety ratings.

4.7.1.2.2 Permanency of the work area

In selecting work surface materials a good understanding of the operation is necessary to ensure that the correct materials are selected. Considerations include the following:

- Field service activities often necessitate a completely portable work surface that may fit in a tool kit or pocket of a field service engineer. This work surface shall be designed so that it can withstand continual handling and frequent connection and disconnection from ground. The work surface might also need to last for years in the service engineer's tool kit.
- Conformal coating chemicals, when used on a work surface, can increase the surface's resistance to ground to the point where the work surface may no longer function. For these situations a disposable work surface might be more cost effective.

4.7.1.2.3 Physical considerations

Most work surfaces require a degree of durability. Durability factors that should be considered are hardness, abrasion resistance and tear resistance. Some work surfaces may require special heat-resistant materials. Soldering stations, for example, may need work surfaces designed to resist heat.

Appearance is often an important factor in selecting a work surface. Colours also may be used to distinguish specific operations or establish corporate identity. Light reflection may be an important ergonomic consideration. Portable work surfaces should lay flat on the substrate. Curling with age should be a characteristic that is investigated during the qualification process. Functionality, durability and reliability of the work surface grounding system should be evaluated during qualification testing.

4.7.1.2.4 Chemical considerations

Chemical transfer from the work surface may cause contamination that could lead to corrosion of sensitive metallic parts. Solvents and other chemicals handled at the workstation may have deleterious effects to the work surface. The work surface material should be evaluated for required compatibility during the qualification process.

4.7.1.2.5 Electrical considerations

The most important functional consideration for work surfaces is the resistance from the top of the surface to the groundable point. This establishes the resistance of the primary path to ground for items placed on the surface. IEC 61340-5-1 has set a resistance to ground range for work surfaces of less than $1,0 \times 10^9 \Omega$.

However, it is sometimes necessary to use work surfaces that are much more conductive. This is allowed under IEC 61340-5-1 but the reasons for using a more conductive work surface shall be documented in the ESD control program plan.

4.7.1.2.6 Safety considerations

Workstations with hazardous electrical potentials may require significantly different electrical properties. The resistance to ground and resistance point-to-point values may need to be increased where line voltage is present.

NOTE DC resistance measurements might not be adequate for making safety decisions.

4.7.1.3 Types of work surface materials

A wide variety of work surface materials and forms exist, with more being developed all the time. The properties of these different materials vary (mechanical, physical, and electrical). Even though there are many varieties of work surfaces, two basic classes of work surface materials are available. These basic classes are generally called mono-layer and multi-layer. Some work surfaces, particularly mono-layer and high pressure laminates, may have some degree of humidity dependence. These materials should be tested for adequate performance at low humidity prior to selection and installation.

4.7.1.3.1 Mono-layer work surface materials

Mono-layer or homogeneous work surface materials are those that have the same electrical and physical properties throughout the bulk of the material. Rigid surfaces and flexible mat type materials are available in different resistance ranges. Point-to-point resistance (R_p) and resistance to ground (R_g) measurements may change with distance between the electrodes or between the electrode and the groundable point of the work surface.

4.7.1.3.2 Multi-layer worksurface materials

Multi-layer worksurface materials typically consist of 2 or 3 distinct layers. The top surface is normally a layer of dissipative material, varying, by product, in thickness and electrical properties. The next layer is generally highly conductive. Some forms have a bottom layer that is made from either insulative or dissipative materials. Electrical resistance from point-to-point and resistance to ground are generally consistent, regardless of the distance between electrodes or between a single electrode and the worksurface's groundable point. The controlling factor is the vertical resistance through the top surface to the conductive layer. Proper connection of the groundable point hardware to the conductive layer is critical to assure proper charge dissipation.

4.7.1.3.3 High-pressure laminates

These materials are rigid and are applied to a substrate, typically with adhesive systems. The majority of these materials follow the multi-layer description above. There are, however, some types that are basically homogeneous in construction.

Because the electrical properties of many high-pressure laminates have some degree of humidity dependence, all high pressure laminate materials should be carefully tested for adequate performance at low humidity prior to selection and installation.

4.7.1.3.4 Mat and runner (rolled) materials

Mat and runner materials are generally flexible systems that are used to cover non-ESD control substrates. Another common application is to use mats on top of ESD control high-pressure laminates to provide a less humidity-dependent surface in environments where relative humidity varies by season. Mats and runners are available in a range of resistance values and in homogeneous and multi-layer types.

4.7.1.3.5 Field service/portable work surfaces

Portable work surfaces in a variety of forms (multi-layered or homogeneous) are available to meet established requirements and the same ESD control needs as those used in non-remote areas. Typically, field service work surfaces are designed to fold up and fit in a tool kit or a pocket of a field service engineer.

4.7.1.4 Testing

A procedure that can be used for testing the electrical resistance of work surface materials can be found in IEC 61340-2-3. Use the test method described for making resistance to ground or groundable point measurements.

4.7.1.4.1 Evaluation

As part of the selection process, work surface samples are often evaluated under laboratory conditions where items such as humidity, temperature and test voltage are controlled. Resistance is measured at test voltages of 10 V and 100 V at moderate and low humidity.

4.7.1.4.2 Initial installation or acceptance

When first installed, the work surfaces should be tested to make certain that they are functional and meet specifications. Typically, the resistance from the top of the work surface to ground is measured to ensure that the work surface has been properly installed. Verifying that the work surface is connected to ground should be carried out before ESD sensitive devices are handled on the work surface. If evaluation testing is not performed, it is recommended that point-to-point resistance measurements be made in order to understand the characteristics of the material.

4.7.1.4.3 Periodic tests

Periodic testing of work surfaces is necessary to ensure that they continue to meet specifications. Resistance to ground measurements are typically used to verify that the path to ground is intact. In cases where the resistance to ground measurement exceeds the established resistance limits, the following steps can be taken to identify the cause of the high resistance readings:

- Verify visually that the work surface is connected to the ground reference.
- Clean the work surface. Sometimes a dirty surface can cause the resistance to exceed acceptable limits. Once the surface has been cleaned (note: clean the bottom of the resistance measuring electrode as well) repeat the resistance to ground measurement. If the second measurement is within specification this might lead to a further investigation concerning the cleaning practices used by the organization.
- Disconnect the grounding wire and measure the resistance from the top surface of the work surface to the work surfaces groundable point. This measurement shall show whether or not the work surface is functioning as designed and it will verify that there is a good connection between the groundable point and the work surface.
- Using an ohmmeter, measure the resistance of the wire used to ground the work surface. The measurement is made from the point where the wire is connected to the work surface's groundable point to the ground reference.

The frequency of periodic testing is normally specified in corporate operating procedures. However, a common guide would be to conduct these measurements at least quarterly.

4.7.1.5 Maintenance

Periodic cleaning, following the manufacturer's recommendations, is required to maintain proper electrical function of all work surfaces. Ensure that the cleaning products used do not leave an electrically insulative residue which is common with some household cleaners that contain silicone.

4.7.2 Wrist straps

4.7.2.1 Introduction

The wrist strap is a device used to keep personnel at the same electrical potential as the ESD sensitive item(s) they are handling. In most cases this is effected by a connection of both the person and ESDS to ground or to a common connection point when an equipotential bonding system is used. This subclause covers practical information for the use, care and periodic checking of wrist straps.

4.7.2.2 Wrist strap

Wrist straps typically consist of a wrist band which makes contact with the wearer's skin. The wrist band is then attached to a grounding cord which is connected to the ESD ground reference.

4.7.2.2.1 Wrist band

The wrist band is a flexible, form-fitting device designed to make a reliable continuous connection to a person's wrist. Bands are manufactured in many types as summarized in Table 1.

Wrist strap bands almost always have a hypoallergenic metal plate, usually stainless steel, under the buckle or snap head to ensure good skin contact. The remainder of the band shall also have a conductive skin-contacting surface. This ensures that there is complete 360° of contact between the band and the person's skin.

Wrist bands may have a quick-parting, electrical-mechanical connector that mates with a corresponding connector on the head of the ground cord. This connector serves two purposes. First, it is a physical connection for attaching the ground cord. Second, it is the groundable point on the band. Quick release is an important feature of the connector. The breakaway force should be low enough to allow easy release, but high enough to prevent unintentional disconnection. If the breakaway force is too light, the ground connection could be lost without the knowledge of the wearer. Experience has shown that for conventional, single-conductor wrist straps, connectors that part with a force of 13 to 36 newtons are satisfactory.

When initially selecting wrist straps or when reordering for an existing program, it is a good practice to specify a compatible snap size and orientation. This allows for compatibility between existing wrist straps and new purchases. Many wrist strap manufacturers will customize the snap connector configuration to suit the user's requirements provided there is sufficient quantity.

Table 1 – Type of wrist strap bands

Woven elastic fibre with conductive fibres on the inside surface
Knit elastic fabric with conductive fibres on the inside surface
Woven non-elastic fabric having a conductive inside surface
Metal expansion bracelet with insulating resin on the outside surface
Plastic resin wrist watch band with stainless steel sheet metal strips on the inside surface
Shaped sheet metal bracelet with insulating resin on the outer surface
Electrode patch with conductive adhesive

4.7.2.2.2 Wrist strap ground cord

The ground cord is a wire assembly that connects the wrist band to ground or to a common connection point. It usually consists of an insulated wire with a connector head that attaches to the band on one end and a termination device on the other end for connecting to ground. Ground cords usually contain a current-limiting resistor at the band-connecting end.

At first glance, the ground cord appears to be a relatively simple assembly. However, the design requirements are considerable, given the wide range of user applications and the durability requirements of constant tugging, flexing and dragging over the edge of workstation tops and equipment chassis.

Ground cords are available in varying lengths, straight wire or retractable coil cords, resistors in one end or both ends, various colours and several types of ground termination devices. The wire can be multi-stranded linear or helical wound tinsel. The insulation can consist of a durable polymer, a tough synthetic rubber or vinyl.

Any electrical connector that can be attached to ground is acceptable as long as it is mechanically durable. The preferred grounding point for the groundable end of the cord is a point connected to ground or to a common connection point. (See 4.4.2 for further information.)

NOTE Many wrist strap users have been observed to clip the wrist cord to the edge of an ESD protective mat. This process is not recommended as it can increase the total system resistance to ground to over the $3,5 \times 10^7 \Omega$ limit required by IEC 61340-5-1.

4.7.2.3 Wrist strap use and selection

The wrist strap is an effective system for grounding people who handle ESD sensitive materials. However, it is important to emphasize that while the wrist strap grounds the skin, it does not provide a means to eliminate static charges from clothing and footwear, unless these items are conductive or dissipative and make contact with the person's skin.

4.7.2.3.1 Use

For maximum effectiveness, wrist straps should be used properly following these guidelines.

- The wrist strap band should fit snugly and make full skin contact around the wrist. The wrist band should not be worn uncomfortably tight and should not leave deep marks on the wrist.
- The wrist strap shall be connected to a ground or a common connection point. A continuous and secure connection will provide the proper dissipation of electrostatic charges stored on the body.

4.7.2.3.2 Wrist strap selection

The following factors should be considered when selecting and evaluating wrist straps.

- Reliability
- Durability
- Length of the ground cord
- Retractable ground cord or straight
- Snap configuration
- Ground termination connector
- Comfort

Human comfort plays a major part in the selection of a wrist strap design since the wrist strap has to be worn continuously. It should not detract from the efficiency of any work function. There are numerous designs that incorporate various techniques for providing reliable skin contact. These wrist straps range from fabric woven with conductive fibres to metal flexible bands or other special use designs. The ultimate selection will be up to the user since it must be compatible with the process.

4.7.2.4 Wrist strap testing

Because wrist straps do not last forever, they should be tested periodically. A good testing program not only tests the wrist strap itself, but also indicates the quality of the skin contact when performing a system test. Wrist strap bands that are soiled, incorrectly sized or improperly worn will show resistance higher than acceptable. Changes in weather and people can affect ground resistance. Dry skin often leads to high resistance indications.

4.7.2.4.1 Reliability testing

A major factor in selecting and using wrist straps is reliability. Stress testing to predict reliability is expensive and best performed by a qualified laboratory.

Analysis of the wrist strap to determine the nature of the failure can be useful. Areas of concern include skin contact failure, cord failure and connector failure. By collating the data on a periodic basis, it is possible to determine trends for particular manufacturers and styles. This information will be useful when making further purchasing decisions. Use of wrist straps that exhibit inadequate life span should be discontinued, regardless of the failure mode.

4.7.2.4.2 Additional user wrist strap testing

The testing described here is more than a test of a wrist strap; it is also a test of the quality of the connection the band makes with the wrist. It is a test of the wrist strap in an 'as used' configuration, referred to as a system test. The purpose of testing the wrist strap as a system is to confirm that the total series resistance of all of the elements in the system is between the minimum and maximum resistance allowed by the user's specification.

Proper testing of the wrist strap includes the resistance of the groundable point on the end of the cord, the cord itself, the current-limiting resistor, the cord-to-band snap connector, the resistance of the interface of the cuff, the cuff/wrist interface, and the resistance of the person between the wrist and the hand that contacts the test electrode. The maximum acceptable resistance for wrist strap grounding is less than $3,5 \times 10^7 \Omega$. There are many commercially available wrist strap checkers to perform this system test. Some have the added capability to test the cord alone. When selecting a wrist strap checker, it is important to read the specifications to see if the upper and lower resistance limits of the checker match the user's requirements. On some wrist strap checkers, one or both limits may be adjustable. In use, these checkers will indicate if the system resistance is below, above, or within the acceptable range. Some testers will only indicate whether the system resistance is within the acceptable range or outside it.

A system test can also be performed using an ohmmeter as long as the test potential is safe. A metal electrode that can be held in the hand is attached to one of the meter leads. Holding a pin probe tip between fingertips can produce erroneous results. When using an ohmmeter to perform this test, it is important to understand that the resistance of the human is considered in the total resistance of the system and that the value of this resistance will vary from person to person.

4.7.2.4.3 Test procedure

While wearing the wrist strap, connect the loose end of the cord to the tester terminal and depress the test button or touch the metal test surface with a finger or hand. If the resistance is over $3,5 \times 10^7 \Omega$, test the cord alone for continuity. If the resistance of the cord alone is approximately $1,0 \times 10^6 \Omega$, check the fit of the band around the wrist and adjust it for a snug fit. Snap the cord back on the cuff and retest. If the resistance is still over $3,5 \times 10^7 \Omega$, substitute a new band.

NOTE 1 Electrical breakages within the cord can be checked by flexing the cord during measurement.

If the resistance is still too high, dry skin might be the problem. Dry skin conditions can be resolved by applying moisturizing lotion on the wrist and repeating the resistance test again. The moisturizing lotion should be one that is compatible with process requirements and does not cause contamination.

NOTE 2 Metal expansion bracelet style wrist bands may trap moisture underneath and can be more effective for people with dry skin.

4.7.2.4.4 Test frequency

Wrist straps should be tested periodically. The frequency of testing, however, is driven by the amount of usage, wear and ESD risk exposure that can occur between tests. For, example, what is the quantity of product handled between test periods?

Because wrist straps have a finite life, it is important to develop a test frequency that will guarantee integrity of the system. Typical test programs recommend that wrist straps that are

used daily should be tested daily. However, if the products that are being produced are of such value that a guarantee of a continuous, reliable ground is needed then continuous monitoring should be considered or even required.

Data taken from the test program will ultimately allow the user to make the choice of how often the wrist strap should be checked and which wrist straps have the most useful service life.

4.7.2.5 Current limiting

Wrist straps have a current limiting resistor moulded into the ground cord head on the end that connects to the band. The resistor most commonly used is a $1 \times 10^6 \Omega$, 1/4 watt with a working voltage rating of 250 V. Resistors limit current as defined by Ohm's Law, which states the current is equal to the voltage divided by the resistance. In a practical application, the maximum amount of current through a wrist strap ground cord if it is placed across a 250 V source, is 250 μA or 0,25 mA.

For personnel safety, wrist straps incorporating a $1,0 \times 10^6 \Omega$ resistor should not be used in situations where there is an exposed electrical circuit of 250 V or higher. Some additional options for high voltage operations are as follows:

- Select a wrist strap system that utilizes a higher value resistor.
- Intentionally isolate the operator from ground through the use of high resistance floor mats or gloves.

NOTE Several publications exist that provide varying limits of allowable current for personnel safety. For example, most power supplies are current limited to 5 mA. For this reason, the user should check with local safety personnel to determine requirements for their particular area.

4.7.2.6 Summary

- Wrist straps provide an effective means for maintaining personnel at ground potential or at the same potential as the item(s) being handled. People who are at ground potential or a potential the same as the ESDS they are handling cannot discharge to the ESDS when it is handled or touched.
- Wrist straps usually have a current-limiting resistor, typically $1,0 \times 10^6 \Omega$, molded into the ground cord near the point where the cord attaches to the cuff. The resistor usually has a working voltage rating of 250 V.
- Wrist straps are sometimes supplied with a $1,0 \times 10^6 \Omega$ resistor molded into both ends of the ground cord when both ends of the cord have the same type snap connector.
- Wrist straps should not be worn by personnel where they could come into contact with voltage over 250 V.
- Wrist strap ground cords should have a quick release connector to the cuff so personnel will not be tied to the workstation.
- Wrist strap bands should be worn comfortably snug around the wrist while making full skin contact.
- Wrist strap ground cords shall be connected to a groundable point or an equipotential bonding point. Do not connect to a snap on a dissipative mat unless it is the groundable point for the mat. Do not clip a wrist strap to the edge of a dissipative mat.
- Wrist straps should be tested on a regular basis with daily testing being recommended.

4.7.3 Static protective floor materials

4.7.3.1 Introduction

The principal cause of static electricity is frequently cited as the movement of people and materials in the work environment. This routine movement, particularly the contact and separation of shoe from floor, generates charges as high as several thousand volts. Similarly, the movement of mobile carts or other equipment will generate electrostatic charge. This

subclause will review the use of floor materials to dissipate electrostatic charge. It will cover floor coverings, floor finishes, topical anti-stats, floor mats, paints and coatings.

4.7.3.2 Functions of static protective floor materials

Static protective floor materials are used in the electronics industry for:

- Grounding of personnel (floor materials can be used in combination with static control footwear as either a primary ground or a secondary, backup system, ground for wrist straps in critical ESD processes)
- Grounding of ESD control items such as:
 - mobile carts,
 - ergonomic stands used to raise the product to an employee's working height,
 - workstations.

Floor coverings, mats, paints and coatings help control static charge by providing a path of moderate electrical conductivity from the human body or ESD control item to ground. Many flooring products use a conductive material, such as carbon, metal or other additives, that extends from the surface of the material to an underlying substrate such as conductive adhesive. The floor material is then connected directly to ground.

Floor finishes and topical anti-stats, on the other hand, function by two separate mechanisms. First, they reduce the surface's tendency to generate a static charge. Second, they provide a path for the dissipation of charge. If the floor finish or topical anti-stat is used for primary grounding they shall be able to limit charging while dissipating it to ground.

4.7.3.3 Relationship between floors and footwear

Grounding through the floor is dependent on the type of footwear that is in contact with the floor. Typical street shoes or industrial footwear with rubber, crepe, or polyurethane soles insulate the wearer from the floor. Generated charges cannot readily flow from the body, through the insulated shoe sole to the floor material to ground.

Studies of ESD control floor materials indicate that charge generation and charge decay times as measured on a person's body vary with the type of footwear worn. The levels of performance depend upon the combination of floor material and footwear. The proper selection of footwear is critical to the performance of static protective floor materials.

4.7.3.4 Benefits of floor materials

The use of floor materials to control personnel or equipment generated static has a number of benefits. Floor materials tend to be passive. Employees who work in areas protected with floor materials simply need to wear and test the appropriate footwear. They do not need to implement any additional actions themselves to assure that the floor material is functioning properly.

Floor materials, particularly floor coverings, finishes, and coatings, can be applied or installed throughout the work environment providing a broad area of control rather than isolated control at individual workstations. They improve the mobility of personnel who work in the environment. Finally, floor materials can help control static on trolleys or other mobile equipment if properly grounded.

4.7.3.5 Limitations of floor materials

Floor materials also have some limitations. When used to ground people, the person shall maintain contact with the ESD control floor. In order to do this the person must be standing. This is the primary reason that IEC 61340-5-1 requires a wrist strap for seated operations.

The use of floor materials may be limited by installation considerations. For example, concrete floors may contain excessive amounts of moisture which may restrict the installation of resilient floor coverings. ESD control carpets might not be practical for processes where there is excessive water spillage.

Some static protective flooring materials cannot withstand the weight of heavy vehicles such as forklift trucks.

Some materials may be restricted from certain applications in the facility due to process considerations. An example could be a floor finish that contributes contaminants to the environment and would not be usable in a clean room.

Excessive amounts of dirt on a floor material can have a negative effect on the performance of the floor material. It is important that floor materials be cleaned on a regular basis. It is also important to ensure that the proper cleaning procedures and products are used to ensure that the performance of the floor is not compromised.

It is important to consider the entire process when selecting static protective flooring.

4.7.3.6 Types of floor materials

Floor material options can generally be classified into permanent and semi-permanent or non-permanent materials. Some of the major advantages and disadvantages of each material type are discussed below.

4.7.3.6.1 Permanent floor materials

Permanent materials are broadly defined as floor coverings, including rubber or vinyl tile and sheet goods, epoxy coatings, high-pressure laminates, and carpet. As a group, these materials have an extended use life and provide protection over a broad physical area.

4.7.3.6.1.1 Rubber and vinyl tile and sheet goods

Resilient floor coverings are the most frequently used permanent floor materials. The material composition is usually rubber, vinyl, or vinyl composition. Material form can be either tile or sheet. Resistance ranges are typically from $2,5 \times 10^4 \Omega$ to $1,0 \times 10^9 \Omega$. Various patterns, colours and sizes are available. Resilient floor coverings offer attractive appearance and resistance to many commonly used chemicals. Most materials can be welded and self-coved for seamless installation in clean rooms. They can be applied to raised floors.

Vinyl floor materials may require more maintenance than other permanent flooring alternatives; rubber flooring requires somewhat less maintenance than vinyl. Some resilient floors may be slippery, particularly when wet. They may be adversely affected by heavy vehicular traffic. The presence of carbon in some of these materials may restrict their use in some clean room applications, although the abrasion resistance of these materials is quite good. Additionally, vinyl flooring systems may outgas and may not be applicable in some clean rooms.

4.7.3.6.1.2 Epoxy and polymeric coatings

Generally a poured permanent flooring material, these products are frequently 3mm or more in thickness, but also can be installed in a thinner gauge (see 4.7.3.6.2.4). They have good chemical, solder, and abrasion resistance and will withstand heavy vehicle traffic. They are easier to maintain in comparison to other materials. They are seamless and can be used in many clean room environments. However, they cannot be used on raised floor panels. Because epoxies are virtually manufactured on-site, proper installation techniques by experienced installers are critical to the successful performance of this type of material.

4.7.3.6.1.3 High pressure laminates

Similar to the popular work surface materials, these products are normally limited to raised floors or as floor mats. Laminates tend to be moisture sensitive and should not be used in areas of high chemical or water spillage or directly on concrete sub-floors that may be subject to high levels of moisture. Changes in humidity may change the resistance characteristics of these materials. High-pressure laminates also lack the physical flexibility to be installed on most standard sub-floors.

4.7.3.6.1.4 Carpeting

Carpeting is available in resistance ranges of $2,5 \times 10^4 \Omega$ to $1,0 \times 10^9 \Omega$. It has aesthetic and acoustical benefits and is a morale booster to employees. Maintenance costs tend to be lower on carpeting than on resilient floor materials. In the form of carpet tiles, it can be used on raised floor panels. Carpet, however, is not well suited for use in areas subject to excessive soiling, water and chemical spills, exposure to significant amounts of hot solder, heavy vehicular traffic or in clean rooms.

4.7.3.6.2 Semi-permanent or non-permanent materials

The second group of floor materials is described as semi-permanent or non-permanent and includes mats, floor finishes, topical anti-stats, and paints and coatings. Their life expectancy is less than that for permanent materials and they require periodic re-treatment or replacement. The single most striking characteristic of these materials is their flexibility and ease of use.

4.7.3.6.2.1 Floor mats

Floor mats are available in a variety of types and styles ranging from soft dissipative mats to hard conductive mats. Their portability and ease of use provide for customization and flexibility of work space design, particularly when ESD control requires protection in limited areas. Easy replacement of mats allows their use around wave solder machines or other equipment where major chemical spillage can damage many floor materials. However, mats tend to curl, create tripping hazards and complicate floor maintenance. They are also expensive if static control flooring is required throughout a complete area. Their applicability in clean rooms is limited due to contamination of the clean environment. Additional attention is required to assure a mat is continuously connected to ground.

4.7.3.6.2.2 Floor finishes

Static-limiting floor finishes may be applied to a variety of non-ESD control floors: standard vinyl, rubber, or vinyl composition tile, or existing static control flooring, to reduce the generation of electrostatic charges. As a floor finish, they protect and they improve the appearance of the floor, and make floor maintenance easier. Floor finishes have flexibility of use, can be applied throughout a facility, and can provide whole area protection. These materials also have some disadvantages:

- Some surfactant type finishes may be too slippery and pose a hazard to employees.
- Some finishes are subject to being washed off with ordinary water. Some finishes can be worn away readily and they may require additional, frequent monitoring to make sure that the finish is still working.
- Improper application and maintenance may cause inconsistent performance of the finish. Some floor finishes may be incompatible with clean room requirements.

4.7.3.6.2.3 Topical anti-stats

Topical anti-stats are similar in function to floor finishes, but do not provide physical protection to the floor material itself. They can also be used on carpet. Topical anti-stats are relatively easy to apply; however, they lack permanency and durability.

4.7.3.6.2.4 Paints and coatings

Paints and epoxy coatings are applied to concrete floors in thin coats. The primary advantages of these materials are their ease of application and coverage over a wide area. They have a longer usable life than do floor finishes, but less than permanent floor materials. Paints and coatings tend to wear off in time and shall be reapplied on a continuing basis. Some materials are not applicable for clean rooms because they abrade or chip away or are highly loaded with carbon.

4.7.3.7 Testing

The standard for testing the electrical resistance of floor materials is IEC 61340-4-1. The test method is designed to operate in the range of $1,0 \times 10^3 \Omega$ to $1,0 \times 10^{10} \Omega$. IEC 61340-5-1 requires that the maximum test voltage used for flooring systems used as part of an ESD control program shall not exceed 100 V.

4.7.3.7.1 Evaluation

As part of the selection process, floor material samples are evaluated under laboratory conditions where humidity, temperature, and resistance meter test voltages are controlled. Resistance is measured at test voltages of 10 V and 100 V at moderate and low humidity.

4.7.3.7.2 Initial installation or acceptance

When first installed, the floor materials should be tested to make certain that they are functional and meet specifications. Typically, the resistance from the top of the floor material to ground is measured to ensure that the floor material has been properly installed. Verifying that the floor material is connected to ground should be done before ESD sensitive devices are handled.

4.7.3.7.3 Periodic tests

Periodic testing of floor materials is necessary to ensure that they continue to meet specifications. Resistance-to-ground measurements are typically used to verify that the path to ground is intact. In cases where the resistance to ground measurement exceeds the established resistance limits, the following steps can be taken to identify the cause of the high resistance readings:

- Verify visually that the floor material is connected to the ground reference.
- Clean the surface of the floor material. Sometimes a dirty surface can cause the resistance to exceed acceptable limits. Once the surface has been cleaned (note: clean the bottom of the resistance measuring electrode as well) repeat the resistance to ground measurement. If the second measurement is within specification this might lead to a further investigation concerning the cleaning practices used by the organization.

The frequency of periodic testing is normally specified in corporate operating procedures. However, a common guide would be to conduct these measurements at least once every three months.

4.7.3.8 Maintenance

Periodic cleaning, following the manufacturer's recommendations, is required to maintain proper electrical function of all floor materials. Ensure that the cleaning products used do not leave an electrically insulative residue which is common to many commercial floor polishes.

4.7.4 Footwear

4.7.4.1 Introductory remarks

As indicated in 4.7.3, the principle cause of static electricity is often cited as the flow of people and materials through the work environment. The routine movement of people, particularly the interaction between shoe and floor, generates charges, which can result in human body voltage as high as several thousand volts.

This subclause covers the role of footwear (shoes, foot grounders and other devices) in helping control personnel charge accumulation. This subclause is intended to provide a definition of static control footwear and its proper application in conjunction with other ESD control mechanisms. Suggestions for testing and evaluating footwear for use in electrostatic discharge (ESD) protective environments are included. Considerations in this subclause are restricted to factors relating to ESD control.

The wrist strap is the first line of defence in personnel grounding. Many manufacturing operations are inhibited and production processes slowed by the use of wrist straps. Highly mobile personnel are almost impossible to ground with a wrist strap. In these cases an alternative grounding method may be necessary in combination with wrist straps.

One such alternative grounding method is through the foot and footwear to ESD control flooring or mats. There are a wide variety of footwear grounding devices available. Selection of the appropriate device needs to be based on ESD control requirements, company safety requirements, and cost effectiveness. Just as there are many choices in footwear, there are also many choices in static control flooring and floor treatments. It is important to consider floor, footwear and individual as three distinct components functioning as a complete system.

NOTE In order to keep the voltage on a person's body to less than 100 V, the total system resistance to ground should be less than $3,5 \times 10^7 \Omega$.

4.7.4.2 Types of footwear

The type of footwear that is used may be influenced by the following: facilities, gender, physical make-up and cultural profiles of personnel, visitors, job descriptions, and budget. It is entirely possible that multiple types of footwear will be incorporated into an ESD control program.

4.7.4.2.1 Heel and toe grounders

Heel and toe grounders are used for employees and visitors in an ESD controlled area. Heel and toe grounders should be worn on each foot. If worn improperly, heel and toe grounders become ineffective. Heel grounders can easily lose contact with the floor and therefore, may require more monitoring than other types of footwear. It is important that the conductive ribbon has good electrical contact with the person's body through direct contact with the person's skin or by connection through the person's socks.

4.7.4.2.2 Booties and shoe covers

Booties and shoe covers are often used in environments where particle control and contamination are concerns. Because the connection to the body is generally accomplished by a conductive strip similar to the heel grounder and toe grounder, booties and shoe covers also may be worn improperly. If the bootie is too large, it can slide or move around on the shoe resulting in a loss of continuity with ground.

4.7.4.2.3 Shoes

If static control shoes are chosen, special care should be taken to ensure proper fit. Shoe construction is important. Shoes designed specifically for ESD control purposes should be used. Because many static control shoes look like ordinary shoes, a visible tag or marking on the shoe will assist in the monitoring and auditing process.

4.7.4.3 Proper usage

ESD control footwear is designed to reduce body charge levels by supplying a conductive path from the body to the floor material.

Heel or toe grounders should be worn on both feet to ensure effective use. Care should be taken to evaluate not only the footwear, but also the footwear/floor combination (see IEC 61340-4-5). Once an upper limit of acceptable body voltage has been determined, typically 100 V, testing should be carried out to ensure that the combination of footwear and floor material performs within the chosen parameters under worst case environmental conditions.

The ability of footwear to remove a charge from a person who moves from an unprotected area to a protected one, or moves about on an ESD control floor, should be evaluated. As a person contacts an ESD control floor material with static control footwear, the body charge should dissipate within a few seconds.

4.7.4.4 Testing

Footwear testing should include an initial product qualification test, preferably laboratory testing under controlled conditions (see IEC 61340-4-3). Once products are found to meet the existing standards, a system test of the footwear in combination with the existing or proposed floor materials in the plant should be made to ensure that the criteria for the facility are met. Incoming inspection on a lot sampling basis should be performed for all static control footwear.

IEC 61340-4-3 is used for evaluating static control footwear. The test method describes procedures for initial laboratory evaluations as well as acceptance testing.

IEC 61340-4-5 was developed for measuring the system resistance of the person, footwear and flooring combination as well as chargeability testing of people walking on ESD control flooring while wearing ESD control footwear.

4.7.4.4.1 Common testing problems

Often, testers used for in-plant monitoring indicate only that the resistance of the system is between two set points. Many testers, such as wrist strap testers, do not have set points to accommodate the actual resistance ranges of static control footwear. The recommended approach is to use a tester designed specifically for footwear.

Occasionally, footwear may indicate a high resistance. Outside of the shoe material itself being a contributor to high resistance, the wearer's skin (if dry), thick insulative socks, the absence of a sweat layer due to differences in temperature between the inner surfaces of the shoes and the wearer's feet or contaminants such as wax build up from office area flooring can cause the resistance to exceed acceptable levels.

4.7.5 Static protective seating

4.7.5.1 Introductory remarks

As mentioned in 4.5, the principle cause of static electricity in the workplace is cited as the movement of people and materials. This routine movement, particularly from a person seated in a chair or movement of the chair itself across the floor can generate significant voltages. This subclause covers the use of seating in an ESD protected area for dissipation of charge. Although not recommended in IEC 61340-5-1 as a means of grounding personnel in the workplace, the use of chairs that meet resistive requirements from the seat contact surface to the castors or chair legs, may be an effective means of grounding personnel if a reliable method can be found to create sufficient bonding of the person and the chair. In addition, if the chair is used to connect personnel to ground (as the primary ground) the maximum resistance to ground from the person through the chair and flooring system shall be less than

$3,5 \times 10^7 \Omega$ or less than $1,0 \times 10^{10} \Omega$ and less than 100 V of charge generation. Continual contact shall be assured between all the elements in the system including the person, the chair and the ESD control flooring surface. The above situation that uses static control seating to ground personnel can be used as one possible example of tailoring.

4.7.5.1.1 Relationship between chairs, flooring and the user

ESD control seating dissipates charge from the user by providing a conductive path from the portion of the body that is in contact with the chair to the flooring material on which the seat rests. Much like the flooring/footwear combination, the seat may rely on a sweat layer between the user and the seat cushion in order to be effective. Because the seat has more mechanical parts, a variety of constituent materials and several connection points between these materials and parts, it is not relied on as heavily as the wrist strap or flooring/footwear combination in grounding personnel. Yet, if tested to resistance specifications, these interfaces can be checked to ensure that grounding is achieved. As with footwear, seating is not effective unless used in conjunction with a static protective floor.

4.7.5.1.2 Benefits

There are some benefits associated with the use of static protective seating. Standard chairs, particularly those with plastic castors may induce significant voltage levels on the user if they are not wearing a wrist strap in areas without protective flooring and footwear. Seating whose wheels, structure and cushions are adequately bonded between each other and which possess adequate resistance properties will reduce these voltages to safe levels.

4.7.5.2 Types and selection

Seating comes in various styles; desk height chairs, bench height chairs, stools and sit/stands. ESD control seating surfaces that contact the body should be capable of dissipating charge from all surfaces of the seating through the components of the chair/stool to ground. Fabric upholstered chairs accomplish this by using conductive fibres woven into the fabric. The fabric is then connected through the components of the chair, through the cylinder, base and casters (or drag chain) to the floor.

Some environments, such as clean rooms, require the use of vinyl upholstery in place of fabric. ESD vinyl upholstery is manufactured with a thin conductive layer below the surface of the vinyl. Vinyl upholstered chairs may have a slightly higher resistance measurement than fabric chairs, however, they must still meet the resistance requirements listed in IEC 61340-5-1.

4.7.5.3 Testing

A procedure that can be used for testing the electrical resistance of seating can be found in IEC 61340-2-3. Use the general test method described for making resistance to ground or groundable point measurements. The seating surfaces to the chair's groundable point (caster or drag chain) should be evaluated.

When used as part of an ESD control program, the required electrical resistance range for seating is less than $1,0 \times 10^{10} \Omega$ as tested in accordance with the requirements established in IEC 61340-5-1. This value applies to laboratory evaluations, acceptance testing and periodic testing.

4.7.6 Ionization

4.7.6.1 Introductory remarks

The primary method of static charge control is direct connection to ground for conductors, static dissipative materials and personnel. However, a complete static control program must also deal with isolated conductors that cannot be grounded as well as insulating materials (e.g., most common plastics). Humidity and chemical sprays may be used to dissipate static

charges from these items under some circumstances. However, humidity is a slow method of dissipating static charge, and chemical sprays are not applicable in environments such as clean rooms.

Air ionization can neutralize the static charge on insulated and isolated objects by charging the molecules of the gases of the surrounding air. Whatever static charge is present on objects in the work environment, this will be neutralized by attracting opposite polarity charges from the air. Because it uses only the air that is already present in the work environment, air ionization may be employed even in clean rooms where chemical sprays and some static dissipative materials are not usable.

Air ionization is not a replacement for grounding methods. It is one component of a complete static control program. Ionizers are used when it is not possible to properly ground everything and as backup to other static control methods. In clean rooms, air ionization may be one of the few methods of static control available.

The ANSI/ESD STM 3.1 standard defines test methods and procedures for evaluating the performance of air ionization equipment. Included in the standard are two annexes (appendices) that briefly discuss the processes of air ionization and charge neutralization, design of the charged plate monitor (the recommended measuring instrument) and other issues related to the use and testing of ionizers.

The purpose of this subclause is to supplement the information presented in the standard test method ANSI/ESD STM 3.1. It discusses how ionizers operate, how their electrical performance is measured, the major types of ionizers and their use environments, important elements of a performance specification, testing methods, safety, maintenance, and contamination issues.

4.7.6.1.1 Contamination control

Another application of air ionization is to improve contamination control.

Balanced air ionization can enhance the ability of the air filtration system to remove particles from the clean room environment. Ionization neutralizes charges on critical surfaces and reduces the attraction of particles to these surfaces. Particles have a greater tendency to remain in the laminar airflow and then be removed by the air filtration system.

4.7.6.2 What is air ionization?

Air ions are molecular clusters of about 10 molecules (often water) around a charged oxygen or nitrogen molecule. The ion may have a positive charge (deficiency of electrons) or a negative charge (excess of electrons). The natural concentration of ions in air is low, typically less than 1 000 per cm³. These "natural" ions are usually formed during the decay of natural radioactive elements in the air, in the ground or in building materials.

For neutralization purposes higher ion concentrations are needed. Radioactive sources, usually Polonium 210, may be used under certain conditions to produce air ions. Alpha particles emitted by nuclear ionizers are positively charged helium nuclei (two protons, two neutrons and no electrons). When these alpha particles collide with molecules in the air, they displace electrons from some air molecules (creating positive air ions). These "free" electrons are eventually captured by other air molecules (creating negative air ions).

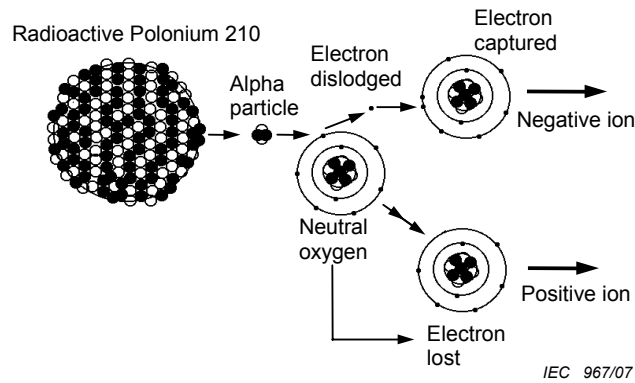


Figure 9 – Ionization by alpha radiation

In other situations, the most common ion production method is by interaction between neutral air molecules and electrons accelerated in an electric field with field strengths exceeding 3 MV/m (at atmospheric pressure). This is generally referred to as high-voltage corona ionization or corona discharge.

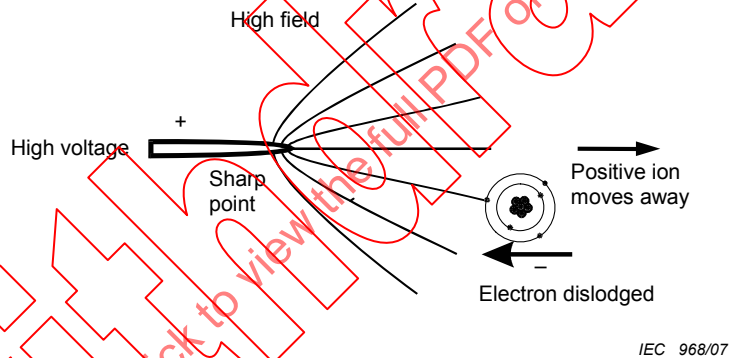


Figure 10 – Corona ionization – Positive

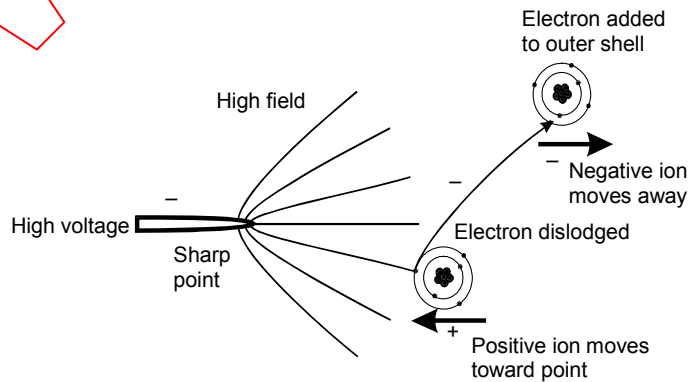


Figure 11 – Corona ionization – Negative

4.7.6.3 Measurement of air ionization

If an ion is exposed to an electric field, it will move at a rate dependent on the magnitude of the electric field, and in a direction dependent on the direction of the electric field and the polarity of the ion (either may be positive or negative). The motion of ions in an electric field is an electric current whose current density will be dependent on the number of the ions in the air and the rate at which the ions move away from or towards the source of the electric field.

If an object is charged, an electric field is established around the object. The field strength will vary from point to point, but is always proportional to the charge. If the object is surrounded by ionized air of both polarities, a current will flow towards the object carried by the ions of polarity opposite to its charge. This "neutralization current" is proportional to the charge on the object and to the amount of ions available in the surrounding air (ion density).

If the ion density does not change, the relative rate of charge neutralization is constant and the charge will decay exponentially with a time constant that depends on the ion density. In practical situations it is difficult to maintain this condition. Particle concentrations in the air, depletion of ions in the vicinity of the charged object, non-homogeneity of the ionized air, and non-uniform fields due to nearby objects will all cause variations in the rate of charge decay. Making corrections for all deviations from the simple case to calculate the time constant is impractical. It is more reasonable to measure the neutralizing properties of an ionizer experimentally using a charged plate monitor.

4.7.6.3.1 Charged plate monitor (CPM)

The charged plate monitor is used to measure the neutralizing properties of an ionizer or ionizing installation. The charged plate monitor consists of an isolated conductive plate, which may be charged to a fixed initial voltage by a suitable external device. The voltage of the plate is monitored either by coupling it to an electrometer or by measuring the field from the plate using a non-contacting field meter.

If the charged plate monitor is placed in an ionized environment, the rate of charge neutralization by the ionizer may be characterized by the discharge time. This has been defined as the time it takes for the plate voltage to drop from its initial value to 10 % of its initial value (for example 1 000 V to 100 V). The ionizer balance may be determined by momentarily grounding the isolated plate, and then noting any voltage induced on the plate by the ionizer operation. This voltage is known as the offset voltage. Detailed information on the charged plate monitor and the measurement technique are contained in ANSI/ESD STM 3.1.

4.7.6.4 Purpose of ionization

Selecting an ionizer to solve a static problem will often involve a number of considerations besides the ability of the ionizer to neutralize a static charge. In general, ionization must be engineered for a particular application, and then evaluated in the actual area it will be used.

It should be remembered that air ionization is installed because there is a static problem. In most cases the air ionization is installed to neutralize static charges on process-essential insulators and isolated conductors. Often, these insulators and isolated conductors are part of the product being manufactured. Ionization, working alone or in addition to passive static control methods, must demonstrate that it can reduce or eliminate the static problem. There are many different technologies and types of equipment for making air ions. There is no best ionizer for all applications. But, by carefully understanding the requirements of one's own application, it may be possible to determine the best ionizer for that specific application.

4.7.6.5 Types, use, selection and installation of air ionizers

4.7.6.5.1 Types of air ionizers

Two primary methods of producing air ionization are nuclear decay by alpha emission, and corona discharge caused by high electric fields. Corona discharge ionizers come in a variety

of types, the most common being AC ionizers, steady-state DC ionizers, and pulsed DC ionizers. Also available are X-ray ionizers that use soft x-ray sources to produce air ionization.

NOTE Corona discharge air ions are created when a high voltage (AC, DC) is applied to a point or emitter.

4.7.6.5.1.1 Nuclear ionizers

Nuclear ionizers commonly use polonium 210 as the radioactive element for producing air ionization. The nuclear material is packaged in a way that prevents its release from the ionizer, but still allows alpha particle emission to ionize the surrounding air. The alpha particles collide with gas molecules in the air, displacing electrons. When electrons are displaced positive ions are produced. When the displaced electrons are captured by neutral gas molecules, negative ions result. Nuclear ionizers do not produce an electric field. They shall be used in close proximity to the charged surface, or depend on airflow to disperse the air ions into the work area.

4.7.6.5.1.2 AC ionizers

AC systems utilize emitters that are switched rapidly between positive and negative high voltage, usually at the power line frequency. Ion recombination is high, as both polarities are produced in rapid succession at each emitter point. The electrostatic field from the emitter points also changes direction rapidly. In some situations, it may not be desirable to place sensitive components close to the emitter points. For these applications, moving ions away from the emitter points will require airflow. AC systems are often mounted at the output of an air delivery system.

4.7.6.5.1.3 Steady-state DC ionizers

Steady-state DC systems consist of separate negative and positive ion emitters connected by a pair of high voltage cables to their respective high voltage power supplies. The spacing between emitters will vary depending on the design, and DC power is constantly applied to the emitter points.

Emitters of opposite polarities are spaced farther apart in the DC systems than in the AC systems. Ion recombination occurs at a lower rate and steady state DC systems will operate at a lower airflow than AC systems. In some situations, it may not be desirable to place sensitive components close to the emitter points. The electric field of the ionizer is used to move ions in the absence of high airflow. Care shall be taken that the emitters are not spaced so far apart that ion hot spots are created. Ion hot spots contain an oversupply of ions of one polarity and any objects brought into these areas may be charged by this ion imbalance.

4.7.6.5.1.4 Pulsed DC ionizers

Pulsed DC systems generate both polarities of ions at a single emitter unit using a single or closely spaced pairs of emitter points. Power distribution may be by high-voltage cables from a central high-voltage power supply, or by low-voltage cable from a central controller to remotely located high-voltage power supplies. By alternating relatively slowly between polarities (usually at a pulse rate of 10 Hz or less), the recombination rate is lowered; however, offset voltage cycling does occur. Generating both polarities at a single location eliminates ion hot spots and allows the electric fields to move ions in low airflow applications. In some situations, it may not be desirable to place sensitive components close to the emitter points. By varying the pulse rate, ions can be delivered to the work area, even in “zero” airflow situations.

4.7.6.5.1.5 X-ray ionizers

Soft x-ray sources (less than 10 KeV energies) can be used to provide the energy to displace electrons from the gas molecules in the air. When electrons are displaced, positive ions are produced. When the displaced electrons are captured by neutral gas molecules, negative ions result. X-ray ionizers produce ions along the path of the x-ray, which may be up to 1 m or

more in air. X-ray sources shall be shielded to prevent exposure to personnel. There is no electric field, but ions are produced in a volume of air, without airflow being required.

4.7.6.5.2 Environments for using air ionizers

Nuclear, corona and soft x-ray ionizers are available in a number of different types. The choice of an ionizer often depends on the size or type of area in which it will be used. Products are available that provide ionized air for entire rooms, laminar airflow benches, work surfaces, specific points of use, compressed gas lines, and a variety of custom applications which are beyond the scope of this standard.

4.7.6.5.2.1 Room ionization

Room ionization devices are used when static problems occur over a wide production area and it is difficult to localize the problem to a particular workstation. Room ionization devices include AC powered grid systems, spaced pairs of steady DC emitters, steady DC bar systems, pulsed DC bar systems, and individual pulsed DC emitters. Nuclear ionizers are not commonly used in room systems because of the quantity of radioactive material that would be required.

Regardless of the type of room ionizer chosen, a number of environmental and equipment issues must be addressed when large areas are to be ionized. Consideration must be given to the ceiling height and airflow present in the area. Any large objects in the area will change both the airflow and the operation of the ionizers. Methods of power distribution to the ionizers as well as other installation requirements need to be considered. After installation, these large systems will require periodic maintenance to ensure the desired performance. In contrast to other ionizer applications, room ionization often involves an engineered system, rather than an off-the-shelf product.

4.7.6.5.2.2 Laminar flow bench ionization

Laminar airflow benches are in common use in the electronics industry and in many other applications. They are used to create a contamination controlled workstation within a larger uncontrolled production area. Within the area of these laminar airflow benches, static charge can cause both ESD and particle contamination problems. AC grids, steady DC, pulsed DC bars and nuclear bars are used to provide ionization in laminar airflow benches. The level and direction of the airflow available in these benches may affect the type of ionizer chosen. Any large objects in the bench area will affect both the airflow and the operation of the ionizer. Power distribution may need to be considered if large numbers of electrical ionizers are to be used. As with all ionizers, periodic maintenance will be needed to provide optimum ionization capabilities.

4.7.6.5.2.3 Worksurface ionization

The type of ionizer used to provide static control on any work surface depends to a large extent on the area in which the worksurface is located and the amount of airflow available. In contamination-controlled areas, and other areas with significant amounts of airflow, the products described under room ionization, or laminar flow bench ionization, may be usable. In areas where there is little ambient airflow, other types of ionizers may be used. These are commonly known as bench top blowers or overhead workstation ionizers, and include fans in their design. They may use nuclear or any of the previously described types of corona ionization technology.

4.7.6.5.2.4 Point-of-use ionization

There is sometimes a need to provide static control in a small defined area or location. This may be done to provide static control within production equipment, in mini-environments or to facilitate particle removal from part of a product. Ionizers used for this purpose may be blow-off guns or nozzles that work with a supply of compressed air or nitrogen. They may use either nuclear, soft x-ray or any of the previously described types of corona ionization

technology. It will be important to choose a method of ionization and cleanliness of the gas supply that is appropriate to the work area.

4.7.6.5.3 Selection of air ionization equipment

4.7.6.5.3.1 Establishing performance specifications

Selecting an air ionizer for a specific application often involves deciding between a number of different variables. There are a wide variety of problems caused by static charge, and a wide variety of products affected by these problems. When a specification is established, it shall take into account the nature of the static problem, the sensitivity of the product to static charge, the environment in which the ionizer will be used, and the operating characteristics of the ionization equipment. Some of the issues to be considered are shown in Table 2.

Table 2 – Ionizer selection checklist

Charge neutralization		Operation	
1.	Discharge time	1.	Maintenance requirements
2.	Balance (offset voltage)	2.	Reliability
3.	Product sensitivity	3.	Equipment service
4.	Solution to static problem	4.	Ozone, EMI and particle emissions
Environmental considerations		Cost	
1.	Airflow	1.	Equipment cost
2.	Physical dimensions	2.	Installation cost
		3.	Operating and maintenance costs
Installation considerations			
1.	Conformity with safety codes		
2.	Power distribution		
3.	Power control		
4.	Compressed gas needs		
5.	Expansion capability		
6.	Cleanroom compatibility		

Evaluating an ionizer in the actual area of use is the preferred practice. This will provide data on static control performance, the effect of ionization on the static problem, and demonstrate other ionizer device features which may be important to the selection process.

Choosing an air ionizer to solve a static charge problem often requires compromises between conflicting equipment and performance requirements. Often an evaluation system installed in your actual area is the only way to determine the functionality and effectiveness, analyze other equipment evaluation criteria and consider installation techniques and determine maintenance issues.

4.7.6.5.3.2 Defining the static problem

An air ionizer that is used to protect against ESD in an assembly area, may be different from an ionizer that reduces particle contamination on wafer surfaces in an ISO Class 3 clean room. The first step in writing a specification is to understand the static charge problem that needs to be solved. It is important to define the nature of the problem so that you can demonstrate later in your evaluation of ionizers that the problem has been solved.

4.7.6.5.3.3 Discharge time and offset voltage

A performance specification depends on the sensitivity of the product to the effects of static charge and the rate at which charge must be neutralized to eliminate the static problem. First, determine the amount of static charge that will cause product damage. A variety of test methods are available to provide this information. Product damage thresholds may determine the allowable offset voltage, or balance, of the ionizer. Offset voltage measured with the charged plate monitor may be part of the performance specification.

Static problems are usually two step events. Static charge is created and then at some later time, it causes a problem. If nothing is done to neutralize the static charge, it may remain for hours, depending on the ambient humidity. Using an ionizer, it may be possible to neutralize the static charge as quickly as a few seconds, or as long as a few minutes. As discharge time depends very strongly on the available airflow, the desired discharge time may not be achievable under all circumstances. Compromises will usually have to be made between discharge times, offset voltage and available airflow. In each application of an ionizer, the user will have to determine if the static neutralization capabilities are sufficient to solve the static problem.

4.7.6.5.3.4 Other selection issues

Depending on the application, there may be additional issues that need to be addressed. All ionizers will need some type of maintenance or periodic certification and this may need to be a part of the performance specification. Since most ionizers operate continuously, there may be significant demands for equipment reliability. Operation in clean rooms or other sensitive areas may require attention to the issues of ozone, EMI and particle emissions.

4.7.6.5.3.5 Cost considerations

System cost is an obvious criterion for selection. A thorough cost/benefit analysis should be performed. This analysis should include initial purchase cost, as well as installation, maintenance and replacement cost over a defined period. These costs should be weighed against the benefits such as improved yields / throughput and improved quality.

Along with the initial system cost, the operating cost of electrical power and in some instances (nozzles and blow-off guns) the cost of compressed air should be considered. Other items to consider are the cost of required maintenance and calibration. These costs will be affected by their level of complexity and frequency required.

4.7.6.5.4 Installation of air ionization equipment

4.7.6.5.4.1 General installation considerations

The installation of ionizers should conform to applicable electrical, mechanical, and safety codes, as well as individual facility standards. Electrical power distribution, cabling, mounting methods, and materials need to be appropriate. Contamination controlled areas often require specialized installation techniques and materials. Installation methods should consider possible future changes in the work area as well as present needs. The installation of electrical ionizers must shall all local and national electric codes.

Power shall be supplied to most ionizers. Some ionizers use a separate power supply transformer connected to line voltage power. Larger ionization systems distribute power from a central controller to the individual ion emitters. Two primary methods of power distribution are used from these power sources to the ion emitters. Low-voltage power distribution uses voltages of 60 V AC/DC or less. High-voltage power distribution uses voltages up to 7 000 V AC or 20,000 V DC. In high-voltage power distribution, insulation shall be suitable for the applied voltages and particular care shall be exercised in cable routing. Sharp edges should be avoided or supplemental insulation should be added at these points to avoid premature cable failure.

Make sure that mounting methods are compatible with safety codes and facility requirements. Some ionizers will need a source of compressed gas whose cleanliness is compatible with the area in which the ionizer will be used.

Ionizers may be installed at the time a facility is built. Most often, however, ionizers are installed after the facility is in operation and static problems need to be solved. Any installation of ionizers in an operating production environment must not interfere with ongoing production. The cost of a production shutdown can be many times more expensive than the cost of the ionizer. Also, if installation is to be carried out in a clean room environment, it shall not compromise the integrity of the clean room.

4.7.6.5.4.2 Airflow considerations

The performance of an air ionizer often depends on the amount of air that flows by or through the device. Some ionizers require airflow to operate correctly, while others do not. Some will use the existing airflow, while others include fans in the product design. Still others use clean, dry compressed gases such as air or nitrogen.

Performance requirements for the ionizer shall take into account the type and amount of airflow available. It is not reasonable to expect the same performance from an ionizer in both the turbulent airflow of an assembly area and in the 30 m/min laminar airflow of a clean room. In applications with inadequate airflow, fans may be used for distributing air ions. Determine if these fans are compatible with the cleanliness of the work environment. If not, the performance of an ionizer that operates with the existing airflow may have to be accepted. Whatever method is used to distribute the ions, there shall be no obstructions between the ionizer and the work area.

4.7.6.5.4.3 Zoning and flexibility to change

The need to control the ionizers varies depending on the application. Less critical situations may be satisfied by factory control settings or adjustment of a large ionized area by a single central controller. More critical applications may require adjustability to be part of the performance specification. Small control zones may be required, or even the ability to fine-tune the ion output at each individual ion emitter point. Some devices, such as nuclear ionizers and X-ray ionizers are intrinsically balanced and provide no adjustment of their operation.

In most production facilities the equipment layout rarely remains the same for long periods of time. It is important to determine the flexibility to change or expand the ionizer installation at a later date. Minor changes should be possible using in-house personnel, and expansion capacity should be part of the original equipment specification. Change or expansion should be possible without costly production shutdowns.

4.7.6.5.4.4 Monitoring and feedback control

Various feedback and auto-balance methods are available to assure ionizer performance. But make sure that enough sensors are included to provide adequate monitoring information to the control system. Most ion sensors have a limited range, usually less than 1,5 m. Unless you can guarantee uniform conditions throughout a large area, many ion sensors may be needed to monitor large installations. Providing a sensor for each ionizing device can improve feedback control. Also, an effective monitoring and control method can reduce the amount of maintenance required for proper operation of the ionizer device or system.

4.7.6.6 Testing of air ionizers

4.7.6.6.1 Selection testing

A complete evaluation of ionizer performance must answer two basic questions. First, are ions arriving in the work area in the proper quantity and balance to neutralize static charges? Second, and more important, does ionization reduce or eliminate the problem caused by the

static charge? The static discharge performance of all air ionization devices should be evaluated using the existing industry standard ANSI/ESD STM 3.1. Any evaluation should also include testing that is specific to the actual problem to be solved. The user will have to identify the static problem, establish a realistic performance specification, select from among the different types of ionizers and test the ionizers in the actual location where they will be used. ANSI/ESD STM 3.1 provides guidelines for testing the discharge performance and balance of ionizers. These guidelines may need to be modified to meet the physical requirements of the specific installation.

Once it has been established that ionizers will solve a static problem, a set of tests should be created for qualification and acceptance of ionizers. These tests should demonstrate that the ionizer will satisfy the performance specification for the intended use. The acceptance testing should be simple enough to be performed by the user's incoming inspection personnel, or by personnel upon initial installation of the equipment.

Often the test methods and guidelines of ANSI/ESD STM 3.1 are used to perform this qualification and acceptance testing of ionizers. A standardized test fixture or test area may be constructed to assure that all ionizers are tested under repeatable, equal conditions. The user determines how accurately measurements in this test fixture or test area shall correlate with performance in the actual area the ionizer is used. If more than one type of ionizer is to be qualified for use or if different types of areas are to be ionized, multiple test fixtures may be required. Sometimes, ionizers will be tested only after they have been installed in the use location. Acceptance testing standards should then be a part of the purchasing process.

Testing should be carried out using the charged plate monitor (CPM) and the methods of ANSI/ESD STM 3.1. Ionizer performance should be compared to the performance requirements developed by the user for each specific application. Using industry standard tests assures that ionizers will be compared on an equal basis, even though the requirements of each application will differ. It has been noted that there is a great variation in the discharge performance and the offset voltage balance required from ionizers. In some cases a small non-standard CPM may be used for evaluation. The performance of the smaller CPM should be verified against the standard CPM.

For some applications of ionization, particularly point-of-use ionization, it may be difficult to use a CPM, due to physical size constraints. When this problem is encountered, it may be necessary to develop an alternative test methodology. One method uses an electrostatic field meter to measure the charge on product or equipment, before and after using ionization. Alternatively, a non-conductor may be charged by rubbing it against another material, or an isolated conductor may be charged by momentarily connecting it to a voltage source. Monitoring these materials with the electrostatic field meter will demonstrate the ability of the ionizer to reduce static charge.

4.7.6.6.2 Confirmation of process improvement

Testing specific to the application shall then demonstrate that the presence of an ionizer has solved the static problem. The problem may be ESD damage, particle deposition on product surfaces or production line downtime. Whatever the problem, testing shall verify that it is reduced or eliminated by using an air ionizer. In some cases, it will be necessary to carry out yield studies of all or part of the manufacturing process.

4.7.6.6.3 Periodic verification testing

Once ionizers have been installed, it is desirable to measure their performance. This provides a baseline against which to monitor their long term operation. The test methods and guidelines of ANSI/ESD STM 3.1 may be used to perform this periodic verification testing of ionizers.

Ionizers should be tested for discharge time and balance after they have been installed in the use location. A certification document detailing the test conditions and test locations should be generated at that time. The time intervals for subsequent measurements will depend on

the user requirements. Less critical applications may require only appropriate maintenance and annual performance checks. More critical uses may demand maintenance schedules and semi-annual or quarterly recertification. Users should be very aware of the costs and responsibilities involved.

4.7.6.7 Maintenance and cleaning

All ionization devices will require periodic maintenance for proper operation. Maintenance intervals for ionizers vary widely depending on the type of ionization equipment and use environment. Critical clean room use will generally require more frequent attention. It is important to set up a routine schedule for ionizer service. Routine service is typically required to meet quality audit requirements.

4.7.6.7.1 Corona (electrical) ionizers

With electrical ionizers the emitter points shall be cleaned regularly and may have to be replaced periodically. Balance and discharge time should be checked at scheduled intervals using a charged plate monitor. Some electrical ionizers will require adjustment of the ion balance at this time. The typical sequence is to clean the unit, including emitter points, set ion balance to zero (if adjustable) and then perform discharge time testing. If the unit does not meet ion balance specifications or minimum established discharge time limits, further service is indicated. Manufacturers should provide details on service procedures and typical service intervals.

4.7.6.7.2 Nuclear ionizers

Nuclear ionizers do not use emitter points, but they typically require annual leak testing by the manufacturer. Although the ionizing element has a predictable life expectancy, routine ion balance and discharge time testing should be performed to assure that the unit is functioning properly. The ionizing element is usually returned to the manufacturer for replacement and disposal.

4.7.6.7.3 X-ray ionizers

X-ray ionizers do not use emitter points, but eventually the X-ray tube will need to be replaced. The ionizer must normally be returned to the manufacturer for this service to be performed. Routine ion balance and discharge time testing should be performed to assure that the unit is functioning properly.

Manufacturers can provide assistance in specifying the appropriate calibration and maintenance required. If these services are needed on a contract basis, make sure they are available from the manufacturer or an approved service agency of the ionization devices under consideration.

4.7.6.8 Environmental and humidity ionization considerations

In general, most air ionizers are designed to work in typical factory environments within temperature and humidity limits specified by the ionizer manufacturer. Condensing humidity, contamination with bases and acids or antistatic topical sprays will often create problems with the operation of electrical ionizers. Electrical ionizers typically use high voltage, low current for ionization. If these contaminants settle on high voltage insulation, they render the insulation mildly conductive. This undesired conductivity may allow unwanted currents to flow within the ionizer resulting in improper operation of the ionizing elements.

The manufacturer should be consulted before installing nuclear ionizers in corrosive environments.

Flammable and explosive environments pose risks that are outside the scope of this standard. The manufacturer of the ionizing equipment shall be consulted for these installations.

4.7.6.9 Other considerations

4.7.6.9.1 Safety issues

Electrical ionization involves the use of high voltages applied to a sharp emitter point. Depending on the design of the ionizer and the method of installation, personnel may come into contact with the emitter points. This may occur accidentally or during normal maintenance procedures. Unless ionizers are installed where no contact with the emitter is possible, consideration should be given to preventing electrical shock or physical injury from contact with the emitter points. All ionizers should meet all local and national safety laws.

4.7.6.9.2 EMI, ozone and particle emissions

There is sometimes a concern about EMI or ozone generation by air ionizers. Manufacturers' data for specifications in these areas should be consulted, but note that test methods and test conditions vary widely. If ionizers are to be used in an area that is sensitive to EMI or ozone, it is strongly recommended that the ionizer be evaluated under normal operating conditions in that area. The ionizer should meet the same standards applied to other equipment used in the area. Sensitive product or equipment should be placed in the ionized area, and the effect of the ionizer on them should be evaluated. Most ionizer manufacturers will provide equipment for this type of testing.

All emitter points require periodic cleaning and replacement, the frequency depending on the material used, the design of the ionizer and the environment in which it is used. There has never been a study linking normal emitter point wear of currently used emitter materials to increased product defects. On the other hand, many studies have shown fewer product defects occur when ionizers are in use.

Ionization devices should meet the same particle emission standards as those that are applied to other production equipment used in clean room areas. If other production equipment is checked for particle emission, use the same test for air ionizers. Although no standards currently exist for measuring particle emission from air ionizers, it is likely that the interest in this issue will cause them to be proposed in the near future.

4.7.7 Garments

4.7.7.1 Introductory remarks

In some cases, e.g. clean room usage, use of ESD control garments may be clearly indicated as an over garment if required from a contamination prevention standpoint. In this application the garment often must have electrostatic field preventative properties in order to minimize contamination by electrostatic attraction of particles.

In many cases, however, the choice of when to use ESD control garments does not have a clear outcome and relies heavily on the judgment of the ESD coordinator. Some factors that may be taken into account include

- the ESD susceptibility of the ESDS being handled (especially if low CDM withstand),
- the cost and consequences of an ESD failure,
- the reliability required of the product and its market,
- the type of facility and handling processes,
- clean room requirements,
- the climate and environmental conditions of the facility,
- the culture of the facility.

The ESD risk provided by everyday clothing cannot be easily assessed. The current general view of experts is that the main source of ESD risk may occur where ESDS can reach high induced voltage due to external fields from the clothing, and subsequently experience a field

induced CDM type discharge. So ESD control garments may be of particular benefit where larger ESDS having low CDM withstand voltage are handled, and operators habitually wear everyday clothing that could generate electrostatic high fields.

As an example, a facility in a warm humid climate in which operators habitually wear short sleeve T-shirts and the product has no special ESD susceptibility, may well not need use of ESD control garments. In contrast another facility in a dry climate handling high cost high ESD susceptibility ESDS in a high reliability application may well choose to use ESD control garments, especially if operators wear long sleeved clothing that may generate electrostatic fields. Most facilities, however will fall somewhere between these extremes and should make their decision based on a technical assessment of their particular conditions.

4.7.7.2 Types and selection

There are several different types of garments available. Areas in which the garments are to be worn and the processes in that area shall be considered as part of the selection criteria for the most suitable garment.

The following are examples of the various types of garments available:

- limited use (disposable);
- topically treated;
- static dissipative;
- groundable with identified grounding point.

4.7.7.2.1 Limited use (disposable)

Limited use garments are defined as a treated or untreated garment whose ESD protective characteristics degrade over time to an unacceptable level. The intent is to use the garment a predetermined number of times and then disposed of. If these garments are reused, an auditable tracking system is recommended to monitor the integrity of the garment. This type of garment is commonly used in areas such as the application of conformal coating where the garments can easily become contaminated.

4.7.7.2.2 Topically treated

Topically treated garments are defined as garments that require treatment during or following the cleaning process. They are generally humidity dependent. The surfactant that is applied or added is hygroscopic and depends on moisture in the air for the garment to perform properly.

4.7.7.2.3 Static dissipative

Static dissipative garments are defined as those which maintain their ESD protective characteristics following 50 or more commercial cleaning (laundry) processes. These garments are typically constructed of fabrics which have conductive fibres placed in a grid pattern throughout the garment. Electrical performance characteristics of these garments may vary from one manufacturer to another.

4.7.7.2.4 Electrically groundable

For electrically groundable garments, the maximum resistance between any point of the garment and the groundable point of the garment shall be less than $1 \times 10^9 \Omega$. These garments typically have an identified groundable point which will make it possible to ground all panels of the garment through one electrically conductive grounding means such as a ground cord. This feature makes it possible to continuously monitor and verify that the garment is grounded while it is being worn.

After verifying that the garment has electrical conductivity through all panels, the garment should be electrically bonded to the grounding system of the wearer so as not to act as a floating conductor. This can be accomplished by several means:

- Ground the garment to the body through a wrist strap-direct connection with an adapter.
- Ground the garment through a conductive wrist cuff in direct contact with the skin of a grounded operator.
- Ground the garment through a separate ground cord, directly attached to an identified groundable point on the garment.

If the garment is used as part of the person's primary ground path (the individual is connected to a garment which is connected to a grounding cord that is attached to ESD ground) then the maximum resistance allowed from the person's body to ground is $3,5 \times 10^7 \Omega$ as required in 5.3.2 of IEC 61340-5-1 (Personnel grounding).

4.7.7.2.4.1 Proper use

Garments should be properly fastened to avoid exposure of possible charges on personal clothing worn under the garment

4.7.7.3 Testing and qualification

A procedure that can be used to test the electrical resistance of garments can be found in ANSI/ESD STM 2.1. For garment materials that utilize a buried conductive thread, it may be necessary to conduct a charge decay test. Generic test methods for performing charge decay testing can be found in IEC 61340-2-1.

4.7.7.3.1 Evaluation

As part of the evaluation process, garment samples are often evaluated under laboratory conditions where items such as humidity, temperature and test voltage are controlled. Resistance and/or charge decay tests can be conducted on

- samples of the garment fabrics,
- assembled garments.

The materials used for testing should be separated into two groups. The first group should be tested as received and the second group should be cleaned per the manufacturer's recommended cleaning method to simulate the long term use of the fabric. Typically the materials are cleaned a minimum of 50 times and the materials are then tested after laboratory conditioning.

4.7.7.3.2 Periodic tests

Once the garments have been placed into service it is recommended that they are checked on a periodic basis to ensure that they still meet specification. This can be done as part of a random test of employees as part of the compliance verification audit or a cleaning service (if used) can perform the checks after every cleaning cycle.

4.7.7.4 Maintenance and cleaning

4.7.7.4.1 Repairs

Garments that become worn or damaged should be repaired or replaced by a qualified source to ensure the electrical integrity of the seams. Once the repair is made, the periodic test described above should be conducted to validate the repair.

4.7.7.4.2 Laundry services

It is important to select an acceptable laundry service that has the ability to launder garments according to the garment manufacturer's prescribed laundry methods. If a topically treated garment is used, the treatment may be verified by an electrical test.

4.7.7.4.3 Home laundering

If garments are being laundered at home by individual employees, it is important that the manufacturer's home laundering instructions be provided and followed. Testing the garment per ANSI/ESD STM 2.1, the point to point and sleeve to sleeve resistance test or according to IEC 61340-2-1, charged decay test, should be done before the garment is put back into use.

4.7.7.4.4 Environmental and humidity

Although polyester fabrics are not hygroscopic, humidity can enhance the connection of the conductive fibres that are woven or knit into a "grid" pattern of the fabrics used in static control garments. This conductive "grid" is the mechanism that can provide a safe path to ground or the ability of a garment to decay a charge in most garments. This makes it advisable to test the garment performance (ANSI/ESD STM 2.1 or IEC 61340-2-1) in the full range of relative humidity and temperature measurements in which the garment will be used.

Temperature and humidity will most certainly affect static control performance of garments containing cotton, an inherently hygroscopic fibre. Consideration should be given to the possibility of the multi-filament cotton fibres escaping from the fabric and causing potential contamination issues.

4.7.7.5 Other considerations

Personnel safety should be considered before allowing static control garments to be worn where there is exposure to high voltage.

After laundering, thorough rinsing of the garment will help eliminate the possible build-up of chemicals on the conductive fibres which can cause them to become insulative.

4.7.8 Storage racks and shelving

Storage rack systems are used to store products and materials. Various styles and configurations are available but for the purposes of this user guide, two generic types of storage systems will be described.

4.7.8.1 Workstation shelving

Shelving systems are frequently included as part of an ESD protective workstation. The shelves in these systems can be used to store ESD sensitive products (both packaged and unpackaged), documentation, manufacturing tools, computer/printing equipment and test equipment such as oscilloscopes. If the shelving system is used to store unpackaged ESD sensitive products, then it should be treated as an ESD control worksurface. This means that the surface shall be properly grounded and be free of unnecessary static generators.

However, if the shelving only holds ESDS that are inside ESD protective packaging then the shelf can be constructed from non-ESD protective materials.

One of the problems found in many factories is that the use of shelving systems changes at each process step. This results in the use of ESD control shelving in some areas and non-ESD control shelving in other areas. This can lead to confusion and employee mistakes as they may place ESD sensitive parts on shelves that are not grounded. One approach to solve this problem is to treat all shelves in a similar manner - i.e. they are all covered with an ESD control worksurface material and grounded, or they are not. If this is not practical then the

only alternative is to place signs on the shelves to identify which ones are not covered with an ESD protective material.

NOTE This implies that those shelving units without any signs are covered with a grounded material.

4.7.8.2 Storage area shelving (i.e. warehouse, kitting, etc.)

The second type of shelving system that is commonly found in factories are floor or desk mounted, multi-level shelving units that are used for the storing of parts in a warehouse or parts kitting area. The user shall decide whether or not this type of shelving requires a grounded, ESD control surface. Some of the factors to consider are as follows:

- Are unprotected ESD sensitive products stored next to non-ESD sensitive products that have been shipped in static generating packaging materials?
- How are products dispersed to and received from production?
- Is the packaged product moved to an ESD protective workstation where trained and grounded operators safely handle the parts?
- Are parts removed from their original packaging at the shelving units and are proper ESD handling procedures being followed?

Once a strategy has been decided upon and implemented, the testing of ESD control shelving units needs to be included as part of the regular process auditing program. The resistance to ground and resistance point to point test methods required by IEC 61340-2-3 are used to make the required auditing measurements.

4.7.9 Mobile equipment

As the name implies, mobile equipment are items that are capable of being moved from one process step to another as the need arises. Examples of mobile equipment are portable task carts, in-process storage carts and mechanized skids that are used to move heavy assemblies. When mobile equipment is used to transport ESD sensitive items it shall be capable of being grounded as products are loaded and unloaded from it. When the mobile equipment is in an ungrounded state (i.e. between ESD protected areas), care shall be taken to ensure that personnel do not handle the products unless they first bring all items to an equipotential balance by bonding together the product, mobile equipment and the personnel that handle the ESD sensitive products.

Mobile equipment can be grounded directly to ESD control floor materials via drag chains, conductive wheel(s) and cable or ball assemblies. When mobile equipment is grounded through floor materials it is necessary to ensure that there is a path to ground from the surface (where the unprotected parts are stored) to ground no matter which connection method is chosen. One of the benefits of this type of system is that the connection to ground is constant and normally does not require operator intervention. One of the drawbacks is that the connection to ground can be lost if a reliable contact with the ESD control floor material is not achieved. Dust and dirt build-up (i.e. on the surface that contains ESDS parts, the floor and/or the grounding mechanism), can result in a loss of the electrical connection between the ESDS item and ground.

For ESD programs that do not utilize ESD control floor materials, mobile equipment can still be used effectively to transport ESD sensitive products. In this situation, the mobile equipment will need to be connected to ground via a wire connected to the ESD grounding system prior to product loading and unloading. The mobile equipment should be connected to ground per the recommendations found in the grounding section of this standard.

In both of the above cases, it will be necessary to include all pieces of mobile equipment in periodic process audits. IEC 61340-5-1 requires that the resistance to ground from the surface of the mobile equipment is less than $1,0 \times 10^9 \Omega$. The test procedure and equipment referenced in IEC 61340-2-3 can be used to make the resistance measurements.

4.8 Packaging electronic products for shipment and storage

4.8.1 Introduction and purpose

The purpose of this subclause is to provide general guidance for the design and specification of ESD protective packaging systems. Packaging refers to those items and materials that provide intimate protection for ESDS parts during all phases of handling, shipping and storage. Secondary or exterior packaging is not specifically considered unless it also performs an ESD protective function. Within the ESD industry, there are many items and materials that are considered appropriate for packaging. This subclause provides basic information to guide the reader to a better understanding of this complex area of packaging of ESD sensitive parts for shipment. While our principal concern is with electrical considerations, other factors related to physical properties are mentioned.

4.8.2 Definitions

The definitions used in this subclause follow the definitions of IEC 61340-1-2. The definitions as explained here provide an overview of the terms used.

4.8.2.1 Conductive

Conductive materials are generally composed of several components, including a base material that may be a polymer of some type. Additives to the base material or polymer generally make materials volume conductive. Treatments, plating or coatings generally result in the formation of the so-called surface conductive materials. In some cases foils are also used to produce conductive materials.

4.8.2.2 Shielding (electrostatic)

Shielding, as produced with thin conductive ESD protective materials, tends to spread or reduce the electrostatic field inside the container due to external electrostatic fields or discharges to the surface.

Some designs of shielding materials, such as those incorporating a dielectric layer within the system, may also limit electrical current from penetrating the surface during a direct discharge. These types of products would be classified as discharge shielding materials.

4.8.2.3 Dissipative

Dissipative materials provide charge dissipation. They also reduce areas of high charge concentration by allowing charges to spread out over the entire surface. Dissipative materials are not necessarily low charging.

4.8.2.4 Low charging

Low Charging materials are those that resist triboelectric charge generation caused by the material contacting and separating from itself or from other materials. Low charging behaviour is not necessarily predicted by surface or volume resistance measurements. Low charging materials are not necessarily dissipative (although many are). Low charging is not specified in IEC 61340-5-1 at this time. However, it can be an important consideration for packaging material selection. Users of packaging materials are encouraged to determine the extent that the packaging materials that are selected will charge in the end use environment.

4.8.2.5 Insulative

Insulative materials have a very high resistance and this limits the ability of the material to conduct current. In general, insulative materials can become highly charged through contact and separation with other materials. The dissipation of charge from insulative materials via grounding may take a long time (i.e. hours or weeks depending on the environmental conditions). This makes insulative materials generally unacceptable for use near ESD sensitive products.

4.8.3 Selecting/designing the right package

What is the right packaging choice for a given application? How do you know? The vast number of packaging options available often causes confusion with uninformed users of packaging materials. The choice of whether the product is shipped in either a static dissipative or a discharge shielding package is dependent on a variety of considerations that include the ESD sensitivity of the product as well as the expected distribution environment hazards.

An ESD protective packaging system's basic function is to make up the difference between the ESD sensitivity of the product and the level of threat that exists in the distribution environment. For example, if the product has a human body model sensitivity of 100 V and the people that will be handling the package are known to have a maximum of 1 000 V on their bodies, then a package shall be selected that will make up the difference between the product's ESD sensitivity and the distribution environment.

The following six steps can be used as a guide to development of an ESD protective packaging system.

- 1) Understand the product's sensitivity.
- 2) Determine the distribution environment for the packaged product.
- 3) Determine the type of packaging system that will be used (i.e. returnable, disposable etc.)
- 4) Select the packaging materials.
- 5) Design a packaging system based on input considerations obtained in steps 1) to 4) above.
- 6) Test the final packaging design for effectiveness.

4.8.3.1 Understand the product sensitivity

Components are evaluated for ESD susceptibility by several different methods. The principle method is based on the human body model (HBM) in which a discharge is applied in steps through an RC (resistor-capacitor) network to all pins or connectors of the device under test (DUT). The DUT is evaluated for parametric shifts after each discharge. The level at which the device under test fails to meet any functional parameters defines the threshold of sensitivity for that component. Catastrophic failure levels may be used in many cases for specification purposes. Product ESD sensitivity information can be obtained by performing in-house evaluations, contacting the product manufacturer or by reviewing published ESD sensitivity data.

4.8.3.2 Understand the distribution environment

It is extremely important to understand the environment in which the product will be shipped and how it will be handled in order to determine the correct type of packaging that should be used.

Some of the questions that should be considered are:

- What is the distribution mode for the product?
 - within an ESD controlled facility
 - between ESD controlled facilities (uncontrolled environment)
- Does the product cross national borders? If so, is it subject to inspection by untrained and ungrounded customs agents?
- Is the product being shipped by dedicated truck (only your organization's product on the truck) or is it part of a consolidated load?
- Does the shipment go directly to the final destination or does it go through various transportation hubs where it is loaded and unloaded (i.e. off of trucks/airplanes)

- What is the expected distribution environment?
 - Temperature extremes (cold and/or hot)
 - Moisture extremes (product exposed to high humidity or even outside threats such as rain)
- Who will handle the product at delivery?
 - Employees trained in ESD handling techniques
 - Untrained individuals (customers, parts distribution companies)
- What measured ESD threats exist in the shipping environment?

4.8.3.2.1 Humidity

High humidity is known to cause multiple problems with electronic parts, not the least of which is enhanced corrosion. Difficulties with soldering are also well known and documented. Preventing excessive humidity exposure to parts requires enclosing the parts in a barrier material. Typically, a barrier material should have a water vapour transmission rate (WVTR) of less than 0,02 g/645 cm²per 24 h.

4.8.3.2.2 Temperature

While only specialized materials and structures can control the interior temperature of a package, it is important to take possible temperature exposure into account when shipping electronic parts. It is particularly important to consider what happens to the interior of a package if the environment has high humidity. If the temperature varies across the dew point of the established interior environment of the package, condensation may occur. The interior of a package should either contain desiccant or the air should be evacuated from the package during the sealing process. The package itself should have a low WVTR.

4.8.3.3 Determine the type of packaging system that is best suited for the intended application

The marketplace provides numerous options for packaging of electronic products for shipment. The initial consideration is to have low charging or static dissipative materials in contact with ESD sensitive items. An additional benefit of low charging materials is the reduction of static charge carrying materials in the environment where sensitive items may be exposed. In addition, many companies also require that the packaging protect the contents from a direct discharge or exposure to electric fields. Many packages are available that provide all three benefits: low charging, discharge protection, and electric field suppression.

The following subclause provides a description of some of the packaging types that are available to the packaging designer. It is not intended to be an all-inclusive list but it does address the major categories.

4.8.3.3.1 Returnable and reusable packaging

In some situations, packaging may be designed for reuse or return to the original supplier. In this way the package may be reused numerous times. Examples of these types of ESD protective packaging are hinged containers, boxes, and other rigid or semi-rigid containers. The initial cost of these packages may be relatively expensive. However, if the appropriate collection and recycling system is used, the container may be the least expensive choice over time.

NOTE Users of returnable packaging systems should ensure that they investigate the total cost to implement such a program. Some of the potential cost considerations include:

- Labour to collect, sort and prepare materials for the return shipment
- Costs for cleaning prior to reuse
- Testing costs (i.e. surface resistance) prior to re-introducing the packaging into the process
- Freight charges

Bags and pouches may also be used in a returnable situation if the functional and performance characteristics continue to meet the original specifications.

Some packaging can be evaluated by the user in relatively simple ways to determine whether or not it is suitable for reuse. For example, the conductive properties and other physical attributes of volume conductive bags and boxes can be easily measured per the test methods outlined in this section. Shielding bags and containers also may fall into this category as long as the metal layer may be tested for continuity, integrity, or shielding performance.

4.8.3.3.2 Disposable or one time use

Many bag type products are meant for one time use. Although the initial cost may be less than the reusable products, a cost/benefit analysis should be made in evaluating the overall performance of the packaging material for the intended purpose.

4.8.3.3.3 Point-of-sale or display

Computer dealers and other retail and wholesale outlets provide upgrade and replacement parts to the general public. While durability may not be a prime consideration for these applications, attractiveness and aesthetics generally appeal to the consumer. Such packaging usually contains printing that provides information on handling the part. Warning labels stating that the enclosed part may be sensitive to ESD are common.

4.8.3.4 Select and test packaging materials

Test methods and guidance for evaluating the ESD protection attributes of packaging materials are widely available in the industry. Electrical properties are used to define material types. The test methods described in IEC 61340-5-1 will allow the user of packaging materials to classify the materials as conductive, static dissipative or insulative. Once materials have been classified the design of the packaging can be started.

4.8.3.5 Design the packaging

With the ESD sensitivity and distribution environment of the ESD understood, and with a list of available materials for a variety of packaging designs, a packaging system can be designed.

The following general rules can be applied to packaging designs:

- If the package is primarily used to transport product in an ESD protected environment then a low charging, static dissipative package may suffice.
- If the product is moving between ESD protected areas (uncontrolled environment) a low charging, discharge shielding package might be required.
- When the package is shipped into a totally uncontrolled environment a low charging discharge shielding package is recommended.

4.8.3.5.1 Other design considerations

4.8.3.5.1.1 Cost/value relationship

Cost of packaging versus the total value of the system is an important consideration. Most companies that build electronic parts categorize their items on a cost/value basis. The tendency is to use less costly packaging for the less costly or less valuable parts. While this seems logical, the added costs for carrying multiple inventories of packaging and ensuring that the intended package is used for the specified part increases the overall cost of implementing the system. Multiple packaging systems should be evaluated in a thorough cost/benefit analysis.

4.8.3.5.1.2 Handling

Anticipated rigorous handling for vibration sensitive parts requires packaging systems that provide cushioning or reduced stress from physical shock. Durable exterior or primary packaging is of prime importance. Packaging engineers normally design the shipping container to meet the maximum expected physical trauma. From an ESD perspective, the interior of the shipping container or the intimate package should also provide the required ESD protection. The primary container may or may not incorporate ESD protective elements.

4.8.3.5.1.3 Non-electrical considerations

In addition to electrical considerations, other attributes may be required to develop the best package for the intended application. cleanliness, chemical transfer, plastic compatibility, bar code reading, transparency, testability, strength, and protection for shock and vibration are some of these additional characteristics that a specifier may need to consider.

4.8.3.6 Testing

There may be occasions where it is necessary to demonstrate that the product will not be damaged during transit to the customer. In these situations it is highly recommended that the packaged product be subjected to the types of hazards that it can be expected to see during shipment. Possible tests include but are not limited to:

- High voltage discharges to the exterior of the package. The discharge waveform shape and the voltage level selected should be based on the expected threats that the packaged product will be exposed to during shipment.
- Simulated over the road vibration. This test not only helps to ensure that the vibration will not adversely effect the product physically but can also check the charging relationship between the product and the package.
- Drop tests will ensure that the package provides adequate mechanical protection for the packaged product.
- Environmental exposure (rain, temperature and humidity extremes).

The product should be examined as well as functionally tested to ensure that it still meets all functional parameters. The user should establish pass/fail criteria as part of a test plan before any testing is initiated.

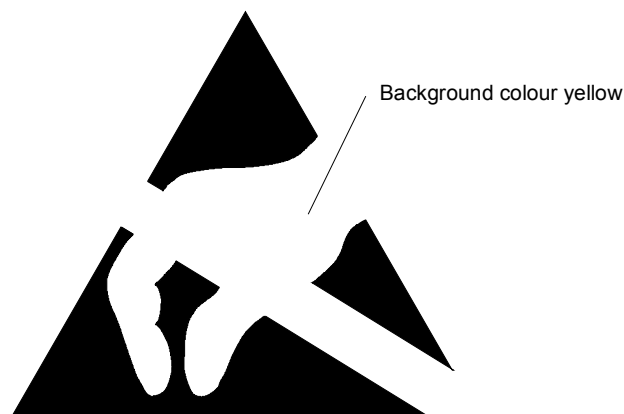
4.9 Marking

IEC 61340-5-1 requires that the Organization mark ESDS assemblies and equipment in accordance with customer requirements. When marking is not specifically required the Organization shall determine whether a marking strategy is required.

Markings on ESDS and ESD packaging materials exist to inform users that the devices or the devices within packages are susceptible to ESD.

4.9.1 Marking of assemblies and equipment

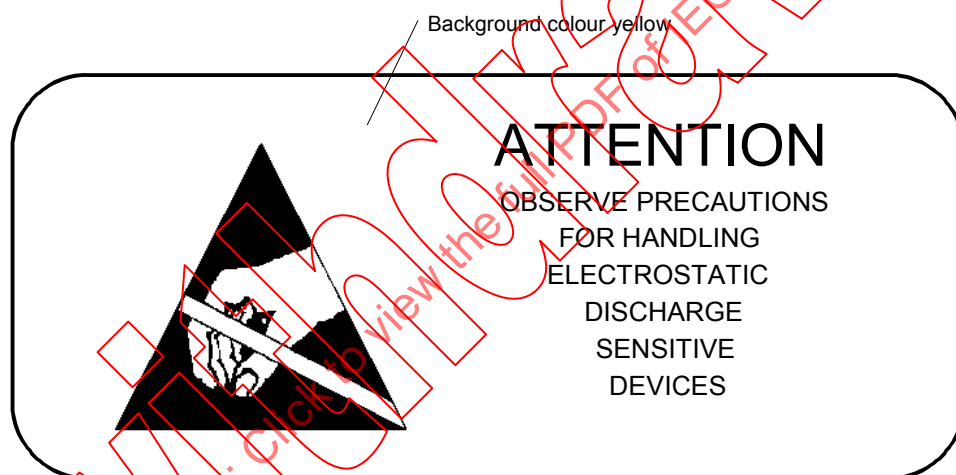
Marking of hardware items (assemblies and equipment) can be accomplished by using the symbol shown in Figure 12. Marking of hardware is dependent on space available on the item itself as well as the environment the item will operate in and whether marking will hinder the operation of the item. Some hardware labels might contain nomenclature along with the symbol in Figure 12.



IEC 970/07

Figure 12 – ESD sensitive part or assembly

Wording such as, “ATTENTION, STATIC SENSITIVE DEVICES, Handle Only at Static Safe Workstations” or “ATTENTION – Sensitive Electronic Devices” may be included, depending on available space. An example of a warning label can be found in Figure 13.



IEC 971/07

Figure 13 – Example of a warning label for ESDS

4.9.2 Marking of packaging

Marking of packaging materials, when ESD sensitive parts or assemblies are packaged inside (i.e. bags, pouches, fast packs, shipping containers, totes, etc.), can be accomplished by using the same symbol shown in Figure 12. Typically, if multiple packaging materials are used for each ESDS item (i.e. wrap and pouch or fast pack), the outermost package should have the label on both sides and clearly visible to handling personnel. Packaging labels may also contain wording along with the symbol shown in Figure 13.

In addition, it is strongly recommended that, where possible, the packaging be identified as ESD protective by using the label in Figure 14.



*

IEC 972/07

(*) Primary function codes:

- S Static discharge shielding
- C Electrostatic conductive
- D Electrostatic dissipative

Figure 14 – Example of a packaging label

4.9.3 Other marking considerations

Marking is sometimes used on other items that may be deemed a package, container or storage device by the organization. Items like storage cabinets or bins, shelving, and other items may be marked. The extent to which the organization wishes to mark hardware and packaging materials should be included in the organization's ESD control program plan. Again, some contractual agreements may dictate marking requirements by an organization.

ESD protective materials and equipment may also be marked. The organization should always be sure that the materials being marked have met qualification, acceptance and in-use criteria before utilizing such marking techniques. Marking of incoming materials and equipment does not always mean they meet requirements set forth by the using organization. If marking of materials for ESD process control are used, the symbol should be the same as the one identified in Figure 15. Other material testing standards may already include marking requirements that are necessary prior to acceptance.



IEC 973/07

Figure 15 – ESD material marking

Annex A

(informative)

Example ESD control document based on IEC 61340-5-1

A.1 Introductory remark

The purpose of this control document is to demonstrate the flow and required sections for an ESD control program as defined by IEC 61340-5-1. This program is based on one of the most basic ESD programs that can be implemented. In most cases, an actual ESD program will utilize more ESD control elements. Personnel are grounded by a wrist strap. Handling operations are performed at a grounded worksurface and ESD sensitive devices are moved from operation to operation inside a metallized shielding bag. The organization's name for the purposes of this example is ACME Electronics Factory Ltd.

A.2 Purpose

The purpose of this procedure is to document the key administrative and technical requirements of the ESD control program used by ACME Electronics Factory Ltd. This program has been developed to comply with the ESD control program requirements of IEC 61340-5-1.

A.3 Range

This procedure applies to all manufacturing areas and the associated manufacturing operations where unprotected ESD sensitive products are handled.

A.4 Responsibilities

ACME Electronics Factory Limited has assigned an ESD Coordinator who is the owner of this document and shall be responsible for ensuring compliance with this procedure.

A.5 References

IEC 61340-5-1, Annex A.1

IEC 61340-2-3

A.6 Definitions

ESD protected area

EPA

area in which ESD sensitive devices (ESDS) can be handled with accepted risk of damage as a result of electrostatic discharge or fields.

A.7 ESD control program plan

This procedure meets the requirements of IEC 61340-5-1. The controls referenced in this document have been selected to ensure that ESD sensitive devices (ESDS) that are susceptible to human body model discharges of 100 V or greater will not be damaged. For the purposes of this ESD program, it is assumed that all ESDS have a human body model ESD

sensitivity of greater than or equal to 100 V. ESDS devices that are more sensitive may require additional control measures.

The basic guidelines that comprise the local ESD control program are as follows:

- All semi-conductor electronic devices are considered to be ESD sensitive.
- Any employees that handle unprotected ESD-sensitive products shall have obtained ESD training and undergo re-certification training every 24 months.
- All employees shall be grounded when handling unprotected ESD sensitive devices.
- ESD sensitive products shall be moved between grounded workstations in metallized shielding bags. ESD sensitive products are only to be handled at an ESD protected workstation by grounded employees.
- All ESD control elements must be periodically verified per the compliance verification plan.
- Non-essential insulators must be removed from the ESD Protected Area (EPA).

A.8 Training plan

A.8.1 Initial training

All ACME Electronics Factory Ltd. employees who handle ESD sensitive products (whether on a continual or intermittent basis) must attend initial ESD orientation training **before** handling ESD sensitive products.

The initial training classes are provided by the ACME Electronics Factory Ltd. training department personnel. The initial ESD class covers ESD basics as well as a description of the ACME Electronics Factory Ltd. ESD controls. At the conclusion of the ESD training class each employee shall write an ESD comprehension test. The test will be marked by the ACME Training department and in order to pass the employee must obtain a score of 80 %.

If an employee passes the test a training record will be set up in the training database that is controlled by the training department. If the employee fails to obtain a score of 80 % the employee will have to attend a supplemental class held by the training department. The employee will be required to write a second test and obtain a score of 80 % in order to pass. If the employee passes the second test a record will be set up in the training database. If the employee fails to obtain a score of 80 % on the second test the Human Resources manager will need to make a determination on whether or not the employee will continue their employment with ACME.

A.8.2 Refresher training

All ACME Electronics Factory Ltd. employees who handle ESD Sensitive products must receive refresher training once every 24 months. On a monthly basis, the Training department shall prepare a list of employees who require re-training in the next two months. The employees on the list as well as their immediate supervisor will be notified that re-training is required and the affected employee will be invited to attend a re-training session held by the training department. At the conclusion of the re-training session the employee must pass a written test and obtain a score of at least 80 %. The records for the employees who pass the test will be updated by the training department. If the employee fails to obtain a score of 80 % the procedure outlined in the initial training session will be followed.

If an employee fails to attend a re-training session before the 24 month certification period expires, the employee will not be allowed to have access to the manufacturing areas until the re-training session has been successfully completed.

A.9 Compliance verification plan

The ESD control program audits requirements established by ACME Electronics Factory Ltd. to control ESD can be found in Table A.1.

The ESD Coordinator is responsible for defining the ESD control items that require periodic verification. The ESD Coordinator is also responsible for the development of the audit procedures as well as the training of any person performing ESD audits.

The ESD Coordinator will ensure that all non-conformances found during the audits have been closed prior to publishing the quarterly audit report to management.

NOTE The audit test methods can be found in Clause A.10.

Table A.1 – ESD control program audits requirements

Technical control item	Limits	Test procedure	Test frequency	Checked by
Wrist straps (system test)	$R < 3,5 \times 10^7 \Omega$	IEC 61340-5-1 Clause A.1	Daily (before use)	Operator
Work surface	$R_g < 1,0 \times 10^9 \Omega$	IEC 61340-2-3	Once every 3 months	ESD Coordinator
Wrist strap connection point	$R_g < 1 \Omega$	Clause A.1 of this procedure	Once every 3 months	Quality Department
Static generators	$< 10\,000 \text{ V/m}$	Clause A.2 of this procedure	Once every 3 months	Quality Department
Shielding bags	Visual indications of damage	Random visual inspection	Once every 3 months	Quality Department
R_g refers to resistance to protective earth.				

A.10 ESD protected area requirements

For the purposes of the ESD control program at ACME Electronics Factory Ltd. the ESD Protected Area (EPA) is defined as any workstation that is equipped with a grounding receptacle for personnel and is covered with a grounded work surface. The ESD protected workstations are identified with a sign indicating that the workstation is ESD protected. Unprotected ESD sensitive devices shall only be handled at an ESD protective workstation by grounded, ESD certified employees.

Visitors to the manufacturing areas as well as untrained employees shall be escorted by ESD certified employees. In no instance shall untrained visitors or employees handle unprotected ESD sensitive devices.

Non-essential insulators (insulative items not required in the manufacturing process), including packaging materials, shall be removed from all ESD protected workstations. Process required insulators are permitted at an ESD protective workstation as long as the measured electrostatic field does not exceed $10\,000 \text{ V/m}$ (see measurement procedure A.11.2). If the measured field exceeds $10\,000 \text{ V/m}$ the process required insulator must be moved away from the ESD sensitive device handling area until the measured field is less than $10\,000 \text{ V/m}$.

A.10.1 Grounding plan

Protective earth shall be used as the ground reference for all ESD control items used by ACME Electronics Factory Ltd. All wrist strap connection points as well as all work surfaces shall be connected to protective earth.

All newly installed work surfaces and wrist strap connection points shall be tested before use to ensure that they are connected to protective earth.

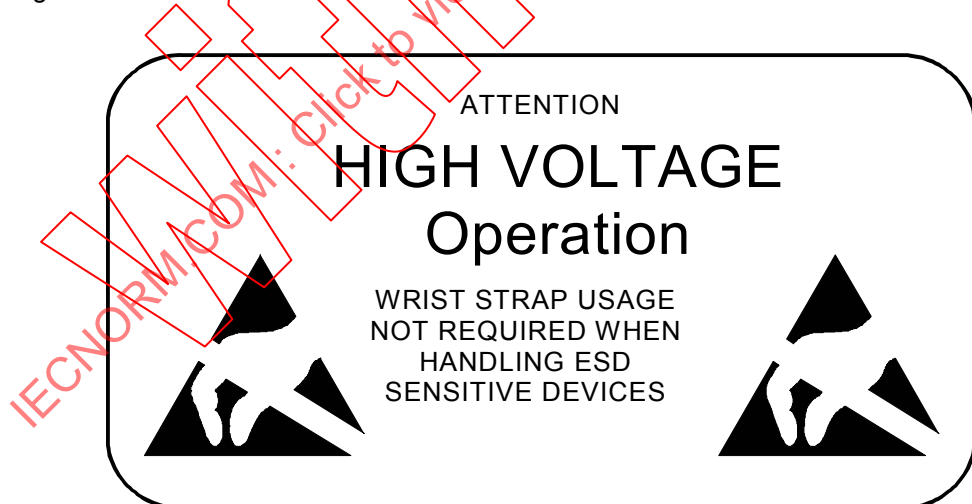
A.10.2 Personnel grounding plan

All personnel shall be connected to protective earth with a wrist strap system when handling unprotected ESD sensitive devices. The wrist band must be worn such that there is 360° of contact with the employee's skin.

Employees shall test their wrist straps at least once per day (before use) using the wrist strap testers located at the entrance to the manufacturing area. If the tester gives a "pass" indication the employee shall initial the log sheet located next to the wrist strap tester. If the tester gives a "fail" indication the employee shall contact their supervisor or the ESD coordinator. The ESD coordinator or the supervisor will help to determine the cause of the failure and will issue a new wrist strap system, if needed. If a new wrist strap system is issued, the employee shall test their wrist strap and only proceed to his/her assigned tasks once a "pass" indication is achieved.

Employees who only visit the manufacturing lines periodically shall test their wrist strap systems on the days when they handle ESD sensitive devices. The testing shall be made before ESD sensitive devices are handled. The wrist strap test log sheet shall be initialled (pass indication received) before the employee handles ESD sensitive devices.

Tailoring statement: ACME Electronics Factory Ltd. has one process step where the personnel grounding rules do not apply. The operation involves personnel who work on repairs and who are in contact with exposed, powered products. Since there is a risk that the operators might come into contact with dangerous voltages, management has decided any person working on this operation **shall not wear** their wrist strap. The final product shall be handled by the edges and contact with ESDS avoided where possible. As an additional protective measure, an air ionizer has been installed at this location in order to reduce charge levels. The following sign is posted above the workstation to inform personnel of the special handling conditions.



IEC 974/07

Figure A.1 – Sign indicating special handling conditions

A.10.3 Work surfaces

All work surfaces within the EPA on which ESDS may be placed shall have a grounded surface that is compliant with Table A.1. Any surfaces which do not comply shall be marked to indicate that they are not suitable for holding unprotected ESDS.

A.10.4 Packaging

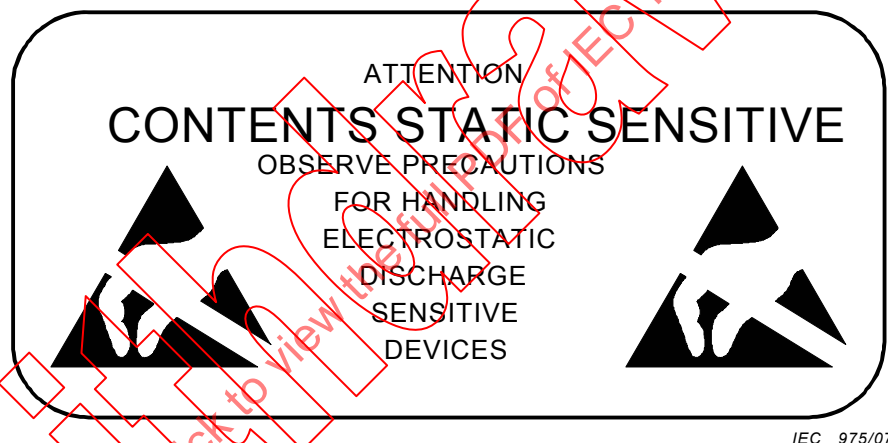
Only new and approved metallized shielding bags shall be used to transport ESD sensitive products from one ESD protected workstation to another. ESD sensitive products shall be completely enclosed by the shielding bag. ESD sensitive products shall be removed from the packaging only at an ESD protected work surface by grounded employees.

Once the ESD sensitive product has been tested it will be returned to the shielding bag and sealed. The sealed shielding bag will then be placed in a protective container for shipment to the customer.

In the case where specific ESD protective packaging is specified by the customer, by either contract or purchase order, these materials shall be used.

A.10.5 Marking

ACME Electronics Factory Ltd. has not received any specific marking requirements from its customers. However, in order to ensure that the customer is aware that the product is ESD sensitive the following label will be used to seal the metallized shielding bag that is used to ship all products to the customer.



IEC 975/07

Figure A.2 – Label indicating product is ESD sensitive

A.11 Audit procedures

A.11.1 Testing of wrist strap connection point

Equipment: Calibrated multimeter

- Connect one lead of the multimeter to protective earth.
- Connect the second lead to the wrist strap connection point.
- Turn on the multi-meter and read the resistance.
- If less than 1 Ω , then the reading is acceptable.
- If greater than 1 Ω , have the wiring connection checked and fixed if necessary.

A.11.2 Checking for static generators

Equipment: Calibrated electrostatic fieldmeter

- Turn on and zero the electrostatic fieldmeter.
- Scan the work area (where the ESD sensitive devices are handled) with the fieldmeter. If the reading exceeds 10 000 V/m then the non-compliant material shall be either:

- moved away from area where ESD sensitive products are handled until the measured electrostatic field (where the product is actually handled) is less than 10 000 V/m; or
 - removed from the area completely.
- If the readings are less than 10 000 V/m, then no further action is required.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 61340-5-2:2007

Withdawn

Annex B (informative)

ESD control element considerations

B.1 General remarks

The ESD program plan described in this standard is based on a simple ESD program in order to demonstrate how a program could be written to meet the requirements of IEC 61340-5-1. However, there are many other ESD control elements that are in use in electronics factories around the world. This annex will discuss some of the issues around when additional ESD controls might or should be considered.

The example ESD control program described in this standard contains a basic ESD control program consisting of personnel grounded with wrist straps, grounded work surfaces, metallized shielding bags and a plan for process required insulators that uses distance (separation between ESDS and the insulator) to safely use required insulators when the fields have measured electrostatic fields of greater than 10 000 V/m at the location where the ESDS are being handled. This program, as stated in Clause 5, is more than adequate for handling ESDS with a sensitivity of 100 V human body model or greater.

One of the most difficult questions to answer is “When do I need to use additional ESD controls in my program, such as smocks, ionizers, constant wrist strap monitors, ESD control footwear, ESD control flooring or floor mats, ESD control chairs and ESD control trolleys?”

The use of additional ESD control measures can be a decision that is made by the organization that implements the ESD program in order to enhance the ESD program's effectiveness or the additional ESD controls might be a customer requirement.

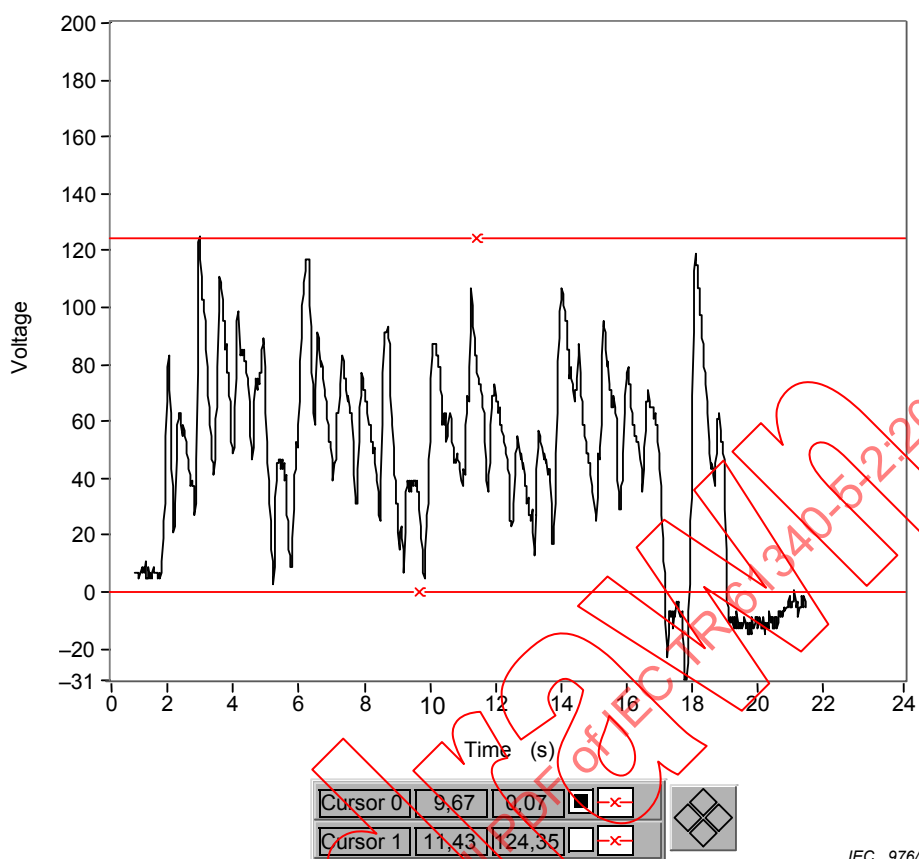
The following subclause describes some of the common, additional ESD controls that are used throughout the electronics industry along with some considerations concerning when or how they should be used.

B.1.1 ESD control floors

In a factory assembly process where employee mobility is important to the organization then the installation of ESD control floors (or floor mats) along with ESD control footwear might be beneficial. ESD control flooring and footwear will give employees the freedom to move throughout the manufacturing process without damaging ESDS.

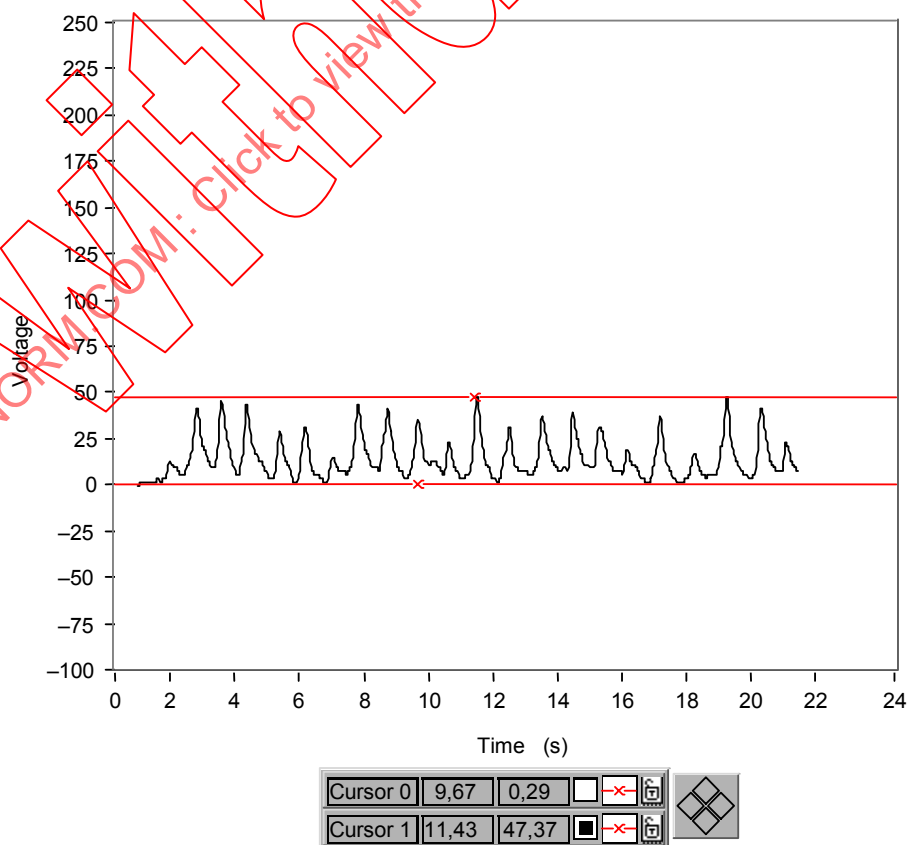
NOTE Special care should be taken to ensure that the footwear flooring combinations will keep a person's body voltage below the 100 V threshold required by IEC 61340-5-1.

The following graphs show the voltage generated when three types of footwear, all on the same flooring system, are used. Examples 1 and 3 (Figures B.1 and B.3) would not be acceptable for an IEC 61340-5-1 compliant program since the average of the five highest peak voltages generated exceed the 100 V limit. Example 2 (Figure B.2) shows a flooring footwear combination that would be acceptable.



IEC 976/07

Figure B.1a – Example 1



IEC 977/07

Figure B.1b – Example 2

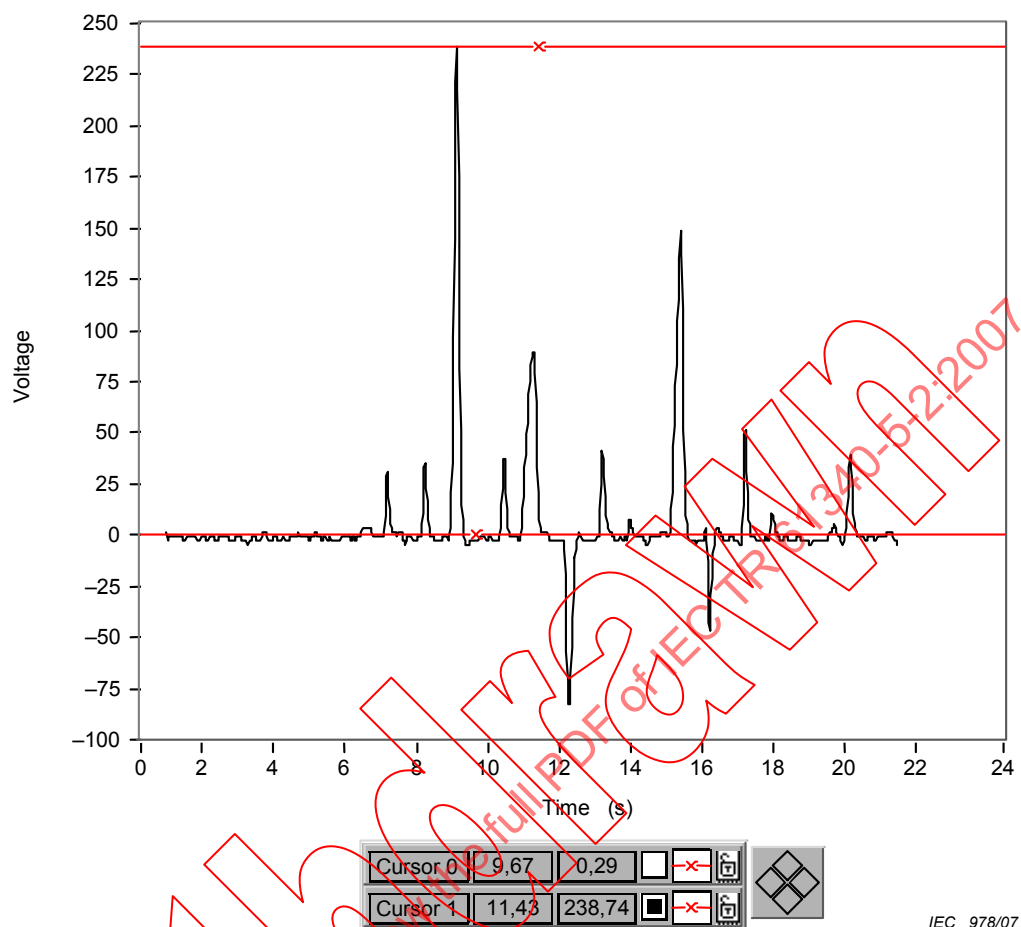


Figure B.1c – Example 3

Figure B.1 – Voltage generated for three types of footwear all on the same flooring system

B.1.2 Ionizers

In the sample ESD program, process required insulators that caused the measured electrostatic field near ESDS to be greater than 10 000 V/m was handled by simply moving the charged objects away from the ESDS. However, it needs to be asked what would happen if these materials had to be located next to ESDS? In these situations an air ionizer, if properly used, would lower the charge on the insulators to allow them to be located very near ESDS. The decision to use air ionizers is very much dependent on the requirements of the process.

B.1.3 Constant monitors

Many people believe that constant monitors are required for ultra sensitive devices. However, from a process point of view, what is the main difference between a constant monitor and a plain wrist strap system? The ESD performance of the two systems are exactly the same. The benefit of using constant monitors is that they are not dependent on ESD sensitivity of the devices being handled.

A properly grounded wrist strap will keep a person's body voltage to approximately ± 10 V. The main advantage to a constant monitor is the immediate indication that the employee receives if the wrist strap falls open. With an unmonitored system, the employee will not be

aware of a wrist strap failure until the start of the next shift. This has reliability benefits for an ESD program as it might help reduce or eliminate ESD damage.

There are also other process benefits from using constant monitors such as the elimination of the need to maintain daily test logs and a reduction in the time for employees to make the daily test. For units that also monitor the connection of a work surface to protective earth, it is also possible to reduce or eliminate the checking of the work surface as part of the periodic audit of the process.

Constant monitors might be implemented by an organization due to high reliability requirements imposed by customers.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 61340-5-2:2007

Withdawn

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 61340-5-2:2007

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	76
INTRODUCTION	78
1 Domaine d'application	80
2 Références normatives	80
3 Termes et définitions	81
4 Plan de programme de maîtrise des ESD	81
4.1 Elaboration d'un plan de programme de maîtrise des ESD	81
4.1.1 Affectation d'un coordinateur ESD	81
4.1.2 Détermination de la sensibilité des pièces aux ESD	81
4.1.3 Processus initial et évaluation de l'organisation	82
4.1.4 Documentation du plan de programme de maîtrise des ESD	82
4.1.5 Personnalisation	83
4.2 Elaboration d'un plan de formation	83
4.2.1 Formation du personnel	83
4.3 Elaboration d'un plan de vérification de la conformité	85
4.3.1 Introduction	85
4.3.2 Eléments de maîtrise des ESD	86
4.3.3 Fréquence de vérification	86
4.3.4 Types de vérifications	87
4.3.5 Limites des éléments de maîtrise des ESD	87
4.3.6 Méthodes d'essai	87
4.3.7 Équipements d'essai	88
4.3.8 Compétences de l'auditeur	88
4.3.9 Compte-rendu des constatations d'audit	88
4.4 Systèmes de liaison ou de mise à la terre	91
4.4.1 Introduction	91
4.4.2 Exigences élémentaires de mise à la terre	91
4.4.3 Autres considérations sur la mise à la terre	93
4.4.4 Vérification du système de mise à la terre ESD	94
4.4.5 Vérification de l'installation correcte des éléments de maîtrise des ESD	95
4.5 Mise à la terre du personnel	95
4.5.1 Exigences du système	95
4.5.2 Système de bracelet antistatique	96
4.5.3 Système de chaussures et revêtement de sol	96
4.6 Zones protégées (EPA)	98
4.7 Eléments de maîtrise des ESD	99
4.7.1 Surfaces de travail	99
4.7.2 Bracelets antistatiques	103
4.7.3 Matériaux de sol de protection contre les ESD	108
4.7.4 Chaussures	112
4.7.5 Sièges de protection contre les ESD	114
4.7.6 Ionisation	116
4.7.7 Vêtements	128
4.7.8 Rayonnages et éléments de stockage	131
4.7.9 Equipements mobiles	132

4.8	Emballages de produits électroniques pour l'expédition et le stockage	132
4.8.1	Introduction et but	132
4.8.2	Définitions	133
4.8.3	Sélection/conception des bons emballages.....	133
4.9	Marquage.....	137
4.9.1	Marquage d'ensembles et d'équipements	138
4.9.2	Marquage de l'emballage.....	139
4.9.3	Autres considérations relatives au marquage.....	139
Annexe A (informative) Exemple de document de maîtrise des ESD basé sur la CEI 61340-5-1		141
Annexe B (informative) Considérations sur les éléments de maîtrise des ESD		147
Figure 1 – Exemple de rapport d'audit montrant la direction l'état actuel du programme ESD.....		89
Figure 2 – Exemple de rapport d'audit montrant les seuils pour la ligne de fabrication		90
Figure 3 – Exemple de rapport d'audit montrant un diagramme de tendance.....		90
Figure 4a – Système d'alimentation électrique en Amérique du Nord.....		92
Figure 4b – Système d'alimentation électrique en Malaisie		92
Figure 4c – Système d'alimentation électrique au Royaume-Uni – Système monophasée.....		92
Figure 4 – Système d'alimentation électrique pour différents pays		92
Figure 5 – Exemple de bancs mis à la terre individuellement – Recommandé		93
Figure 6 – Exemple de bancs connectés en série à la terre – Non recommandé		94
Figure 7 – Relation entre la tension du corps et la résistance à la terre		96
Figure 8 – Tension sur le corps d'une personne qui porte deux lanières de mise à la terre de talon et qui marche sur un sol conducteur.....		97
Figure 9 – Ionisation par rayonnement alpha		117
Figure 10 – Ionisation par effet Corona – Positive.....		117
Figure 11 – Ionisation par effet Corona – Négative		117
Figure 12 – Ensemble ou partie sensible aux ESD.....		138
Figure 13 – Exemple d'étiquette d'avertissement pour ESDS		138
Figure 14 – Exemple d'étiquette d'emballage.....		139
Figure 15 – Marquage de matériaux ESD.....		140
Figure A.1 – Signe indiquant des conditions de manipulation spéciales		145
Figure A.2 – Etiquette indiquant qu'un produit est sensible aux ESD.....		146
Figure B.1a – Exemple 1.....		148
Figure B.1b – Exemple 2.....		148
Figure B.1c – Exemple 3.....		149
Figure B.1 – Tension générée lorsque trois types de chaussures tous sur le même système de revêtement de sol		149
Tableau 1 – Types de bandes de bracelets antistatiques		104
Tableau 2 – Liste de contrôle pour la sélection d'un ioniseur		122
Tableau A.1 – Exigences des audits du programme de maîtrise des ESD		143

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ÉLECTROSTATIQUE –

Partie 5-2: Protection des dispositifs électroniques contre les phénomènes électrostatiques – Guide d'utilisation

AVANT-PROPOS

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

La tâche principale des comités d'études de la CEI est l'élaboration des Normes internationales. Toutefois, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique lorsqu'il a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur l'état de la technique.

CEI 61340-5-2, qui est un rapport technique, a été établie par le comité d'études 101 de la CEI: Electrostatique.

Cette version annule et remplace la première édition, parue comme spécification technique en 1999. Elle constitue une révision technique.

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

La présente version de la CEI 61340-5-2 a été modifiée afin de fournir des lignes directrices aux utilisateurs de la CEI 61340-5-1. Le texte a été disposé de manière à suivre les exigences de la CEI 61340-5-1 le plus fidèlement possible, ainsi que pour donner des lignes directrices spécifiques relatives à chacune des exigences de la CEI 61340-5-1.

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

Projet d'enquête	Rapport de vote
101/219/CDV	101/233/RVC

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

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

Une liste de toutes les parties de la série CEI 61340, présentées sous le titre général *Electrostatique.*, 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 maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

Le contenu du corrigendum de mai 2009 a été pris en considération dans cet exemplaire.

INTRODUCTION

Ce guide d'utilisation a été établie pour des particuliers et pour des organisations confrontés à la maîtrise des décharges électrostatiques (ESD, *electrostatic discharge*). Il fournit des lignes directrices qui peuvent être utilisées pour élaborer, mettre en œuvre et surveiller un programme de maîtrise des décharges électrostatiques, conformément à la CEI 61340-5-1.

Ce guide d'utilisation s'applique à des activités de fabrication, de traitement, de montage, d'installation, d'emballage, d'étiquetage, d'entretien, d'essai, d'examen ou de toute autre manipulation d'éléments électriques ou électroniques, d'ensembles et d'équipements susceptibles d'être endommagés par des décharges électrostatiques supérieures ou égales à 100 V sur le modèle du corps humain (HBM). La limite du modèle du corps humain de 100 V a été choisie pour la CEI 61340-5-1 comme seuil de sensibilité de base puisqu'une grande majorité des produits sensibles aux décharges électrostatiques sur le marché ont une sensibilité supérieure à 100 V.

Les limites établies pour chaque élément de maîtrise des ESD sont spécifiées pour un programme ESD conçu pour des dispositifs du modèle du corps humain de 100 V. La valeur de 100 V est fondée sur les niveaux maxima de tension pouvant être atteints sur un individu lorsqu'il est relié à la terre par des techniques admises dans l'industrie de l'électronique, conformément à la CEI 61340-5-1.

Pour des organisations concernées par les dommages sur le modèle du composant chargé, la CEI 61340-5-1 établit des exigences relatives à l'utilisation de matériaux isolants dans des zones protégées contre les ESD (EPA, *ESD protected area*), en se basant sur les limites maximales des champs électrostatiques. Ce thème est traité plus en détail en 4.6.

Les principes généraux décrits dans la CEI 61340-5-1 ne sont pas limités dans leur applicabilité aux dispositifs sensibles aux décharges électrostatiques (ESDS) ayant une sensibilité aux ESD de 100 V ou plus. Pour les sociétés qui utilisent des ESDS avec des sensibilités inférieures au modèle du corps humain de 100 V, les principes généraux de la CEI 61340-5-1 peuvent encore être utilisés. L'organisation peut devoir modifier certaines des limites exigées spécifiées dans les Tableaux 2 à 4. La documentation des programmes identifierait alors que des ESDS dont la sensibilité est inférieure au modèle du corps humain de 100 V étaient utilisés et ceci nécessiterait une modification des limites établies dans la CEI 61340-5-1.

Les principes fondamentaux de la maîtrise des ESD qui constituent la base de la CEI 61340-5-1 sont les suivants:

- a) Eviter une décharge de n'importe quel objet conducteur chargé (personne, équipement) dans le dispositif :

Ceci peut être réalisé en connectant ou en raccordant électriquement tous les conducteurs présents dans l'environnement, y compris le personnel, à une terre existante ou provoquée (par exemple sur un navire ou sur un avion). Cette liaison crée un équilibre équipotentiel entre tous les éléments et toutes les personnes. La protection électrostatique peut être maintenue à un potentiel différent du potentiel de la terre (la tension nulle), tant que tous les éléments dans le système sont au même potentiel.

- b) Eviter une décharge de n'importe quel dispositif chargé sensible aux ESD (la charge peut être causée par contact direct et séparation ou il peut s'agir d'un champ induit) :

Les matériaux isolants nécessaires dans l'environnement ne peuvent pas perdre leur charge électrostatique lorsqu'ils sont reliés à la terre. Les systèmes d'ionisation neutralisent les charges sur ces matériaux isolants nécessaires (des exemples de matériaux isolants nécessaires sont les matériaux des cartes de circuits et certains

emballages de dispositifs). Il est nécessaire d'évaluer les risques des ESD créés par les charges électrostatiques sur les matériaux isolants nécessaires sur le lieu de travail, pour garantir que des actions appropriées sont mises en œuvre, en fonction des risques.

- c) Hors de la zone protégée contre les décharges électrostatiques (ci-après dénommée « EPA »), il est souvent impossible de contrôler les éléments décrits ci-dessus, et donc un emballage de protection contre les ESD peut être nécessaire.

La protection contre les ESD peut être effectuée en enfermant les produits sensibles aux ESD dans des matériaux de protection contre les décharges électrostatiques, bien que le type de matériau dépende de la situation et de la destination. A l'intérieur d'une EPA, des matériaux dissipatifs d'électricité statique et astatique/antistatique peuvent offrir une bonne protection. A l'extérieur d'une EPA, il est recommandé d'utiliser des matériaux de blindage à décharge d'électricité statique et astatique/antistatique. Bien que tous ces matériaux ne soient pas étudiés dans cette norme, il est important de connaître les différences dans leur application.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 61340-5-2:2007

ÉLECTROSTATIQUE –

Partie 5-2: Protection des dispositifs électroniques contre les phénomènes électrostatiques – Guide d'utilisation

1 Domaine d'application

Le présent rapport technique a été élaboré comme lignes directrices à la CEI 61340-5-1.

Les contrôles et les limites cités en référence dans la présente norme ont été établis pour protéger les dispositifs sensibles aux décharges de 100 V ou plus en utilisant la méthode d'essai du modèle du corps humain. Cependant, les concepts généraux restent valables pour les dispositifs sensibles aux décharges de moins de 100 V.

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)*

CEI 61340-2-1, *Electrostatique – Partie 2-1: Méthodes de mesure – Capacité des matériaux et des produits à dissiper des charges électrostatiques*

CEI 61340-2-3, *Electrostatique – Partie 2-3: Méthodes d'essais pour la détermination de la résistance et de la résistivité des matériaux planaires solides destinés à éviter les charges électrostatiques*

CEI 61340-4-1, *Electrostatique – Partie 4-1: Méthodes d'essai normalisées pour des applications spécifiques – Résistance électrique des revêtements de sol et des sols finis*

CEI 61340-4-3, *Electrostatique – Partie 4-3: Méthodes d'essai normalisées pour des applications spécifiques – Chaussures*

CEI 61340-4-5, *Electrostatique – Partie 4-5: Méthodes d'essai normalisées pour des applications spécifiques – Méthodes de caractérisation de la protection électrostatique des chaussures et des revêtements de sol par rapport à une personne*

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

ANSI/ESD STM2.1, *Standard Test Method for the protection of electrostatic discharge susceptible items – Garments*

ANSI/ESD STM3.1, *Standard Test Method for the electrostatic discharge susceptible items - Ionization*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de la CEI 61340-5-1 s'appliquent.

4 Plan de programme de maîtrise des ESD

Cet article décrit une approche étape par étape qui peut être utilisée pour établir un programme de maîtrise des ESD.

4.1 Elaboration d'un plan de programme de maîtrise des ESD

4.1.1 Affectation d'un coordinateur ESD

Un coordinateur ESD a pour objectif une bonne conception et mise en œuvre du programme ESD. Le coordinateur ESD est la personne responsable de tous les aspects des ESD dans l'installation. Pour être efficace, le coordinateur ESD doit avoir:

- a) le soutien total de la direction ;
- b) une bonne connaissance du domaine électrostatique et de la façon dont les dispositifs sensibles aux ESD peuvent être endommagés. Le coordinateur ESD devra souvent assister à des formations ou à des conférences sur les ESD pour entretenir ou mettre à jour ses connaissances ;
- c) une connaissance approfondie de la CEI 61340-5-1 et de tous les processus de l'organisation liés à la manipulation des dispositifs sensibles aux ESD ;
- d) l'accès aux équipements de mesure pour effectuer des audits de vérification de conformité ainsi que des essais sur de nouveaux produits et matériaux ESD destinés à être utilisés dans le programme ESD ;
- e) en fonction de la taille de l'installation, le coordinateur ESD peut également avoir besoin d'auditeurs affectés à la conduite des audits ESD.

En conclusion, il faut que la direction soutienne le coordinateur ESD, tant au niveau de l'autorité que des ressources financières, afin d'assurer que le programme de maîtrise des ESD est appliqué et maintenu.

4.1.2 Détermination de la sensibilité des pièces aux ESD

La prochaine étape de l'élaboration d'un plan de programme de maîtrise des ESD consiste à déterminer le niveau de sensibilité des pièces, des ensembles ou des équipements selon lequel le plan doit être élaboré. Bien que les exigences décrites dans la CEI 61340-5-1 soient efficaces pour manipuler des pièces sensibles au modèle du corps humain de 100 V ou plus, l'organisation peut choisir d'élaborer un programme ESD basé sur des sensibilités aux ESD qui sont supérieures ou inférieures au modèle du corps humain de 100 V. Dans cette situation, l'organisation doit élaborer un plan de programme de maîtrise des ESD qui définit clairement la sensibilité aux ESD sur laquelle se base le programme.

L'organisation peut utiliser différentes méthodes pour déterminer la sensibilité aux ESD des produits qui doivent être manipulés. Certaines des méthodes sont:

- la supposition que tous les produits ESD ont une sensibilité au modèle du corps humain de 100 V ;
- un essai réel des dispositifs sensibles aux ESD pour établir les seuils de sensibilité aux ESD en utilisant la CEI 60749-26 ;
- l'utilisation des données de sensibilité aux ESD publiées dans des documents tels que les fiches techniques du fabricant.

4.1.3 Processus initial et évaluation de l'organisation

Avant d'élaborer le plan du programme de maîtrise des ESD, il convient de procéder à une première évaluation des processus et des organisations concernés par le programme de maîtrise des ESD. Les organisations et les processus qui peuvent être concernés comprennent:

- le service des achats;
- le bureau d'études;
- le contrôle de réception;
- l'assurance qualité;
- la fabrication;
- les essais;
- la maintenance;
- l'emballage et l'expédition;
- la maintenance sur le terrain;
- l'analyse des pannes;
- le service des réparations;
- le stockage des pièces de rechange;
- la manutention et le transport des pièces;
- la réception.

Il convient d'évaluer chaque zone où des parties d'ESDS sont manipulées pour déterminer les risques de décharges électrostatiques et les procédures de processus de décharges électrostatiques possibles. Les informations collectées tout au long de ces étapes constituent la base de l'élaboration du plan de programme de maîtrise des ESD.

4.1.4 Documentation du plan de programme de maîtrise des ESD

Après avoir collecté les informations présentées ci-dessus, l'organisation est en mesure de commencer à rédiger des documents sur le plan du programme. Il convient que le plan spécifie le domaine d'application du programme qui inclut les tâches, les activités et les procédures nécessaires pour protéger les éléments sensibles aux ESD au niveau ou au-dessus du niveau de sensibilité aux ESD choisi pour le plan. Bien que le plan ait pour principal objectif la description des stratégies visant à satisfaire aux éléments administratifs et techniques de la CEI 61340-5-1, il peut être bénéfique d'intégrer d'autres éléments. Ces éléments supplémentaires peuvent inclure:

- les responsabilités de l'organisation;
- les rôles et responsabilités définis entre l'organisation, les sous-traitants et les fournisseurs;

- les stratégies pour surveiller les processus et les rendements des produits qui peuvent être importants pour déterminer l'efficacité des mesures de maîtrise des ESD actuellement en place ou pour évaluer s'il convient ou non de prendre des mesures renforcées;
- des approches consistant à assurer une amélioration continue du programme ESD;
- une liste de produits et de matériaux approuvés ESD.

Les éléments administratifs et techniques de la CEI 61340-5-1 qui doivent être traités dans le plan (sauf s'il est personnalisé) incluent:

- le plan de formation;
- le plan de vérification de conformité;
- les exigences techniques;
- les systèmes de liaison ou de mise à la terre;
- la mise à la terre du personnel;
- les zones protégées;
- les emballages;
- le marquage.

4.1.5 Personnalisation

Il est possible que des parties de la CEI 61340-5-1 ne s'appliquent pas à toutes les zones dans une organisation. Si tel est le cas, l'organisation peut rédiger des documents sur une exception pour un ou plusieurs des éléments nécessaires de la CEI 61340-5-1, tant qu'il existe une justification valable, justifiée et documentée pour l'exception. On trouve un exemple d'exception acceptable à la CEI 61340-5-1 dans l'exemple de programme ESD présenté à la fin de la présente norme.

4.2 Elaboration d'un plan de formation

4.2.1 Formation du personnel

La formation du personnel est un élément essentiel dans la mise en œuvre d'un programme de maîtrise des ESD. L'un des principaux objectifs de la formation est de faire comprendre et respecter la prévention contre les ESD à l'ensemble du personnel.

L'une des premières décisions à prendre porte sur le choix des personnes qui devront suivre la formation ESD. La CEI 61340-5-1 exige que la formation ESD initiale et récurrente soit au moins dispensée à toutes les personnes qui manipulent ou entrent en contact avec les éléments sensibles aux ESD. Cette décision semble évidente, mais on doit s'assurer que toutes les personnes qui manipulent des dispositifs sensibles aux ESD reçoivent la formation appropriée. Par exemple, on peut croire que les employés du département financier n'ont pas besoin de suivre la formation ESD. Cependant, dans certaines sociétés, le personnel du département financier participe à l'inventaire physique annuel, dans lequel les pièces sont comptées. Dans ce cas, les employés du département financier touchent des pièces sensibles aux ESD et doivent donc recevoir la formation ESD pour que l'organisation soit en conformité avec la CEI 61340-5-1.

Bien qu'il ne s'agisse pas d'une exigence de la CEI 61340-5-1, l'organisation peut vouloir que certains employés qui ne manipulent pas de pièces sensibles aux ESD suivent une formation ESD. Par exemple:

- les directeurs, qui doivent comprendre les implications et la nécessité de la prévention contre les ESD ;
- le personnel de nettoyage et d'entretien qui peut devoir travailler dans l'EPA ; et
- le personnel du service des achats responsable d'acheter des pièces sensibles aux ESD et des équipements ESD.

Pour les visiteurs de l'EPA, la personne qui les escorte doit s'assurer que les visiteurs portent l'équipement ESD exigé par l'organisation et qu'ils comprennent ce qui est autorisé et ce qui ne l'est pas dans l'EPA.

Bien que la formation du personnel puisse se faire de différentes manières (avec un instructeur, sur un ordinateur, etc), la formation dispensée par un instructeur est la meilleure. Il convient de veiller à ce que l'instructeur soit qualifié. Il est recommandé que l'instructeur ait une bonne connaissance de la théorie des décharges électrostatiques, du programme de maîtrise des ESD de l'organisation et des processus, des procédures et des documents prescrits dans celui-ci. En outre, si les personnes assistant à la formation sont de cultures différentes, les coutumes et les croyances doivent être respectées. Outre les différences culturelles, il convient de considérer d'autres facteurs tels que l'éducation, l'expérience et l'âge. Il convient de dispenser toute formation dans un environnement sûr et sans menace.

L'une des premières étapes consiste à déterminer le type de formation ESD qui fonctionnera le mieux pour l'organisation. Les méthodes de formation possibles peuvent être:

- en interne, cours ESD dirigé par un instructeur;
- en interne, cours dirigé par un consultant;
- formation sur ordinateur;
- colloque industriel, apprentissage et ateliers.

Il est recommandé que le programme de formation initial couvre les principes fondamentaux des décharges électrostatiques, les détails du plan du programme de maîtrise des ESD de l'organisation et le rôle de chaque personne dans le programme ESD. Il convient que le programme de la formation réponde aux questions élémentaires suivantes:

- qu'est-ce que l'électricité statique?
- comment apparaît-elle?
- comment les décharges électrostatiques affectent-elles la qualité d'un produit?

Il convient d'inclure une explication détaillée du processus de protection qui fait partie de la politique de la société. Quelle que soit la méthode de formation choisie, il est recommandé de concevoir le programme de telle sorte qu'une réponse soit prévue à toutes les questions des stagiaires. En outre, il convient qu'une personne bien documentée dans l'organisation soit disponible pour répondre aux questions des stagiaires lorsqu'ils commencent à travailler. L'ouverture des lignes de communication est le point de départ d'un programme de formation ESD réussi. Il est recommandé que ce type de communication se poursuive sur le lieu de travail et forme la base d'un processus de formation continu. Une exigence de la CEI 61340-5-1 est que la formation ESD initiale soit dispensée avant que le personnel ne manipule les dispositifs sensibles aux ESD.

Puisque les programmes de maîtrise des ESD couvrent une telle variété de disciplines et de niveaux d'éducation, il peut être nécessaire d'élaborer les modules de formation en fonction des postes. Dans les modules avancés, il convient d'insister sur les principaux problèmes de chaque discipline. Il convient de personnaliser l'orientation du cours en fonction des besoins spécifiques de chaque groupe. Par exemple, les modules élaborés pour la direction, les ingénieurs, les techniciens, le personnel de nettoyage et le personnel de maintenance peuvent être très différents parce que leurs préoccupations et responsabilités au quotidien sont très différentes.

Une formation continue ou une formation de renouvellement est également essentielle au plan de formation de l'organisation. Il convient que cette formation rappelle les principes élémentaires fondamentaux enseignés pendant la formation initiale, mais également qu'elle intègre des mises à jour de programme et des changements et les raisons de ces changements. Comme avec la formation initiale, l'organisation doit décider quel type de formation sera utilisé et quelle sera la fréquence de la formation périodique. Il convient que la méthode choisie tienne chacun informé, lui rappelant son engagement à l'effort ESD total. La

formation périodique constitue également un bon retour pour contrôler l'efficacité du programme. Il convient d'encourager le personnel à évoquer les problèmes et faire des suggestions pour améliorer ces sessions. Des actions peuvent alors être attribuées pour améliorer le programme de maîtrise des ESD dans toute l'organisation.

Après des sessions de formation (initiale ou périodique), il est important de s'assurer que le stagiaire comprend et retient les concepts du programme de maîtrise des ESD enseignés pendant ces sessions. La CEI 61340-5-1 exige qu'une technique d'évaluation objective soit intégrée dans le plan de formation. Ceci peut être effectué de différentes manières, par exemple par des tests écrits, des sessions de questions et de réponses avec un instructeur ou des questions à choix multiples à la fin d'une session de formation par ordinateur. Quelle que soit la méthode choisie, il convient que l'organisation établisse un critère d'échec et de réussite à l'essai, pour garantir que la formation a été correctement dispensée. Il convient de conserver les enregistrements de tous les résultats d'essais. Il convient de stocker les enregistrements des essais, de telle sorte qu'ils soient accessibles à la direction et aux clients qui souhaitent avoir une preuve de la formation du plan de programme de maîtrise des ESD dispensée.

Enfin, puisque la CEI 61340-5-1 exige une formation périodique ou de renouvellement, il convient d'établir un système pour indiquer quand les employés doivent participer à un nouvel essai et/ou être de nouveau certifiés.

Il convient de conserver les documents de maîtrise des ESD éducatifs pour que les employés de l'organisation puissent s'y référer à tout moment. Ces documents peuvent inclure:

- des documents des sessions de formation initiales ou périodiques;
- des bulletins ou des lettres d'informations sur les ESD;
- des vidéos ou des CD;
- des documents informatiques sur la formation;
- des fiches techniques, études, normes et spécifications;
- des documents de maîtrise des ESD et des fiches produits d'équipements.

4.3 Elaboration d'un plan de vérification de la conformité

4.3.1 Introduction

Le présent paragraphe examinera l'importance d'un plan de vérification de la conformité correctement mis en œuvre et son rôle dans le maintien d'un programme de maîtrise des ESD réussi.

Pour que le programme de maîtrise des ESD soit réussi, il est essentiel d'élaborer un plan de surveillance continue. Le plan doit identifier

- les éléments de maîtrise des ESD qui seront utilisés,
- la fréquence à laquelle l'élément sera contrôlé pour s'assurer qu'il satisfait aux spécifications et au type d'audits,
- les limites acceptables pour chaque élément de maîtrise des ESD utilisé,
- les méthodes d'essai qui seront utilisées par les auditeurs pour vérifier que chaque élément de maîtrise des ESD correspond aux paramètres établis,
- l'équipement qui sera utilisé pour vérifier les différents éléments de maîtrise des ESD,
- qui sera chargé des mesures d'audit,
- ce qui sera fait en cas de non-conformité.

4.3.2 Eléments de maîtrise des ESD

Il existe de nombreuses manières d'établir un programme de maîtrise des ESD. Un programme peut s'étendre d'un système très simple, économique ou élémentaire à un programme de maîtrise très complexe qui utilise une variété d'éléments de maîtrise qui entraînent une redondance, pour le cas où des éléments primaires de maîtrise des ESD tombent en panne.

Un programme élémentaire de maîtrise des ESD peut inclure les éléments suivants:

- a) une surface de travail reliée à la terre;
- b) la mise à la terre des personnes par un système de bracelet antistatique;
- c) un emballage de protection contre les ESD pour déplacer les ESDS d'une étape d'un processus à la suivante.

Un programme complexe de maîtrise des ESD peut inclure les éléments suivants:

- 1) des surfaces de travail reliées à la terre;
- 2) la mise à la terre des personnes par un bracelet antistatique porté en permanence;
- 3) la mise à la terre des personnes sur un revêtement de sol diminuant le risque d'électricité statique par des chaussures antistatiques;
- 4) la mise à la terre des personnes par des vêtements antistatiques reliés à la terre;
- 5) l'ionisation de l'air de chaque poste de travail.

La décision d'utiliser un programme de maîtrise des ESD élémentaire à la place d'un système complexe est une question de choix de la société. Certaines des considérations sont: la valeur des produits fabriqués, les exigences en matière de fiabilité des produits imposée par le client et la sensibilité aux ESD des dispositifs manipulés. Un type de programme n'est pas nécessairement meilleur que l'autre car ils protègent tous les deux les dispositifs sensibles aux ESD.

Lorsque les éléments de maîtrise des ESD ont été définis et mis en œuvre, il convient que l'organisation élabore une liste de contrôle de l'audit. Pour établir des données significatives sur l'amélioration ou la détérioration obtenue avec le programme ESD, les auditeurs doivent procéder à un audit de chaque zone, chaque fois de la même façon. De nombreuses organisations constatent que des listes de contrôle correctement conçues aident à améliorer la cohérence de l'audit.

4.3.3 Fréquence de vérification

La fréquence de vérification de la fonction des éléments de maîtrise des ESD dépend d'un certain nombre de facteurs tels que le nombre de fois où l'élément est utilisé, la durée de vie de l'élément et l'impact sur le programme de maîtrise des ESD si l'élément de contrôle devait tomber en panne. Par exemple, les bracelets antistatiques sont souvent utilisés comme connexion principale à la terre pour le personnel. Un cordon de terre, lorsqu'il est porté, est soumis à des milliers de cycles de torsion et d'étirement chaque jour et les fils conducteurs dans le cordon de terre peuvent finir par rompre. Dans l'industrie, les cordons de terre sont généralement vérifiés une fois par journée de travail en raison de l'importance du cordon de terre pour le succès du programme et de la probabilité de défaillances.

Certaines organisations peuvent augmenter le temps entre les vérifications d'un élément de maîtrise des ESD après une certaine durée d'utilisation. Cette augmentation est généralement établie en surveillant les défaillances de l'élément de maîtrise des ESD. Une fois que l'organisation a la preuve qu'il existe une période de temps acceptable où aucune défaillance n'a été trouvée, le temps entre les vérifications peut être augmenté. Le nouvel intervalle de vérification est alors contrôlé. Si un niveau de pannes inacceptable est identifié, alors il convient de reprendre la fréquence de vérification précédente.

4.3.4 Types de vérifications

Il existe actuellement plusieurs types de vérifications utilisés dans l'industrie. Ces vérifications sont souvent utilisées en association pour augmenter au maximum l'efficacité du programme ESD.

4.3.4.1 Vérifications visuelles

Des vérifications visuelles sont utilisées par des sociétés pour vérifier l'état général de l'EPA. Elles peuvent être utilisées par des employés au début de la journée de travail pour garantir que tous les fils de terre sont en place et que les générateurs d'électricité statique inutiles ont été retirés du lieu de travail. Des vérifications visuelles peuvent également être utilisées par la direction et le personnel de maîtrise pour s'assurer que les employés suivent les directives de l'organisation en ce qui concerne les essais quotidiens des bracelets antistatiques, le port correct des vêtements antistatiques et le port correct des bracelets antistatiques et des chaussures antistatiques. Une vérification visuelle donne souvent une bonne indication sur le respect d'un programme ESD.

4.3.4.2 Vérifications des mesures

La plupart des organisations vérifient que les éléments de maîtrise des ESD fonctionnent en effectuant des mesures réelles. Les vérifications de ce type sont menées par des auditeurs formés spécialement qui utilisent des équipements choisis pour mesurer correctement chaque élément de maîtrise des ESD. Certaines organisations mesurent 100 % des éléments de maîtrise utilisés dans l'usine alors que d'autres effectuent des vérifications sur des échantillons. Le type de vérification utilisé est choisi par l'organisation qui met en application la CEI 61340-5-1, tant que ce type de vérification s'avère efficace.

4.3.5 Limites des éléments de maîtrise des ESD

Auparavant, de nombreuses sociétés devaient élaborer leurs propres procédures d'essai et établir les limites pour les éléments de maîtrise des ESD qu'elles utilisaient. Cependant, il existe aujourd'hui des limites généralement admises pour de nombreux éléments de maîtrise des ESD utilisés. L'établissement d'un programme ESD autour des limites trouvées dans la CEI 61340-5-1 réduira considérablement la possibilité que des dispositifs sensibles au modèle du corps humain de 100 V soient endommagés par un événement ESD.

Dans certains cas, les limites doivent être restreintes. Cette situation se produit, par exemple, quand l'organisation conçoit un programme ESD autour d'un dispositif dont la sensibilité aux ESD est inférieure à 100 V.

4.3.6 Méthodes d'essai

Pour mettre en œuvre la CEI 61340-5-1, l'une des exigences consiste en ce que l'organisation suive les normes ou les méthodes d'essai indiquées dans les Tableaux 1 à 4 de la CEI 61340-5-1. Il est reconnu que certaines organisations ont développé leurs propres méthodes d'essai ou utilisent d'autres méthodes normalisées pour vérifier certains des éléments de maîtrise des ESD. Ceci est autorisé dans la CEI 61340-5-1. Si l'organisation n'utilise pas les normes référencées dans la CEI 61340-5-1, une déclaration de personnalisation doit être incluse dans le plan du programme de maîtrise des ESD pour décrire la raison pour laquelle les normes de référence ne sont pas utilisées. L'organisation doit également pouvoir démontrer de manière fiable que les méthodes d'essai utilisées sont appropriées.

Les méthodes d'essai présentées dans les tableaux sont principalement destinées à qualifier des produits et des matériaux utilisés par une organisation. Une version modifiée de la méthode d'essai est souvent utilisée par l'organisation pour réaliser des mesures d'audit conformes à la CEI 61340-5-1.

Il est très important que chaque personne impliquée dans l'audit du programme de maîtrise des ESD comprenne la façon dont les mesures de l'audit doivent être réalisées. L'organisation doit établir des procédures pour chaque mesure de l'audit. L'organisation doit également s'assurer que chaque personne impliquée dans la prise de mesures comprend les procédures de l'audit.

4.3.7 Équipements d'essai

Il est très important que l'organisation choisisse des équipements corrects pour réaliser des mesures de vérification de la conformité. Il est préférable de sélectionner des équipements conformes aux équipements spécifiés dans chaque norme ou méthode d'essai de la CEI donnée en référence dans les Tableaux 1 à 4 de la CEI 61340-5-1. Chacun des auditeurs doit être formé sur la façon d'utiliser correctement les équipements de mesure.

4.3.8 Compétences de l'auditeur

Dans le cadre du développement d'un programme ESD conforme à la CEI 61340-5-1, il est important de sélectionner les bonnes personnes pour auditer le programme ESD. Voici quelques considérations sur le choix des auditeurs internes:

- L'auditeur interne doit avoir une bonne connaissance de la CEI 61340-5-1 et du programme ESD spécifique à l'organisation.
- Il convient que l'auditeur interne comprenne également la façon dont le programme de maîtrise des ESD est intégré dans le système de gestion de la qualité de l'organisation. Les constatations d'audit ESD constituent un exemple. Comment l'organisation traite-t-elle les non-conformités constatées pendant les audits? Comment les constatations de l'audit ESD sont-elles documentées? Des rapports d'actions correctives sont-ils générés? Avant de terminer une action corrective, l'auditeur vérifie-t-il que les constatations de l'audit ont été corrigées?
- Il est préférable que l'auditeur interne ait reçu une formation sur le déroulement des audits. La formation sur les audits ISO 9000¹ constitue une bonne base pour tous les auditeurs de processus.
- Il convient que l'auditeur ESD ait une bonne connaissance des processus de fabrication qu'il contrôle.

4.3.9 Compte-rendu des constatations d'audit

Il est important d'informer la direction de l'état du programme ESD. Pour ceci, il est possible d'établir des comptes-rendus à la fin d'un audit. Le coordinateur ESD devra déterminer l'importance de chaque non-conformité. Il convient de traiter les principales non-conformités avant celles considérées comme mineures. Pour les problèmes significatifs de non-conformité ESD, il convient d'informer immédiatement la direction, de sorte que les ressources correctes puissent être attribuées pour corriger le problème.

Il existe de nombreuses manières de signaler les constatations ESD à la direction. On utilise généralement des diagrammes d'audit pour présenter les résultats d'un audit. Il convient que le diagramme présente au moins:

- le nombre de constatations de l'audit;
- le type de constatations;
- la zone contrôlée.

¹ ISO 9000, *Systèmes de management de la qualité -- Principes essentiels et vocabulaire* .

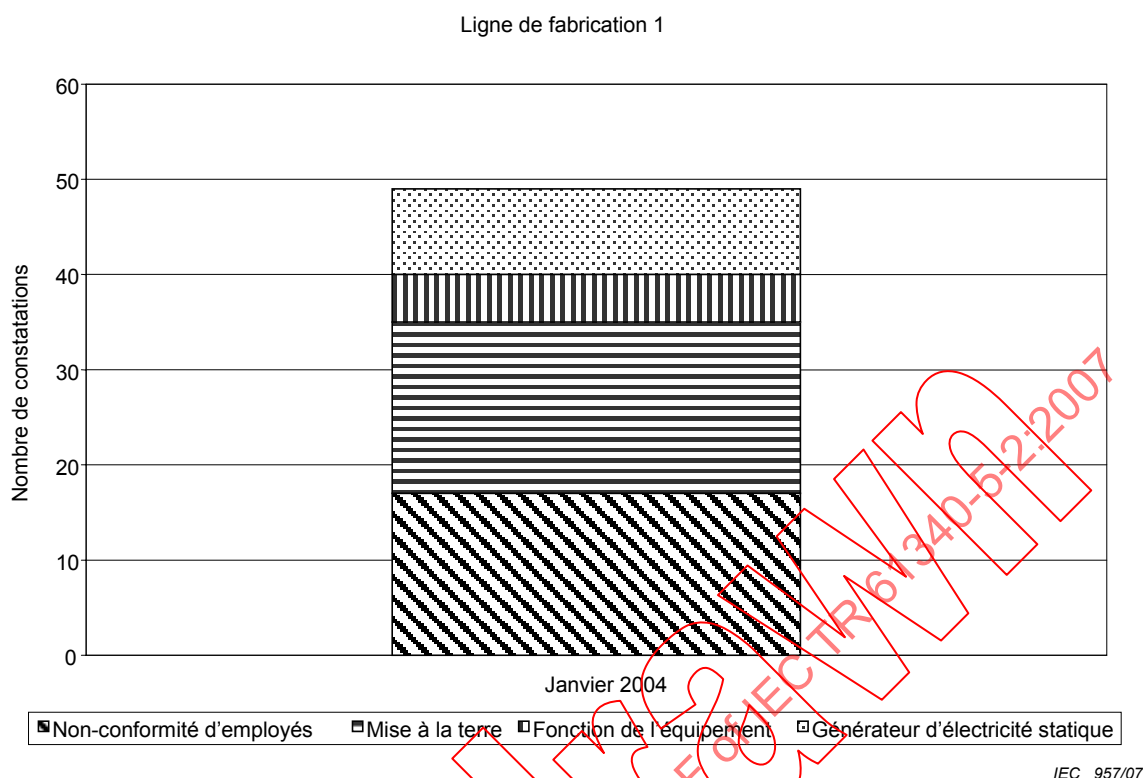


Figure 1 – Exemple de rapport d'audit montrant l'état actuel du programme ESD

Les informations contenues dans la Figure 1 montrent à la direction l'état actuel du programme ESD et les éléments qui représentent la plus grande source de non-conformités. Cependant, la Figure 1 n'indique pas à la direction si le programme est contrôlé. De nombreuses organisations établissent des seuils d'audit pour toutes les constatations autorisées dans une zone donnée. La Figure 2 inclut des seuils pour la ligne de fabrication. Comme on peut le voir sur la Figure 2, la ligne de fabrication a considérablement dépassé les seuils ESD établis. Ces informations aident la direction à déterminer si le programme ESD est contrôlé ou non.

Le compte-rendu peut en outre comporter un compte-rendu de tendance de l'audit. Ces informations montrent à la direction l'état de la zone auditée dans le temps. La Figure 3 présente un exemple de diagramme de tendance.

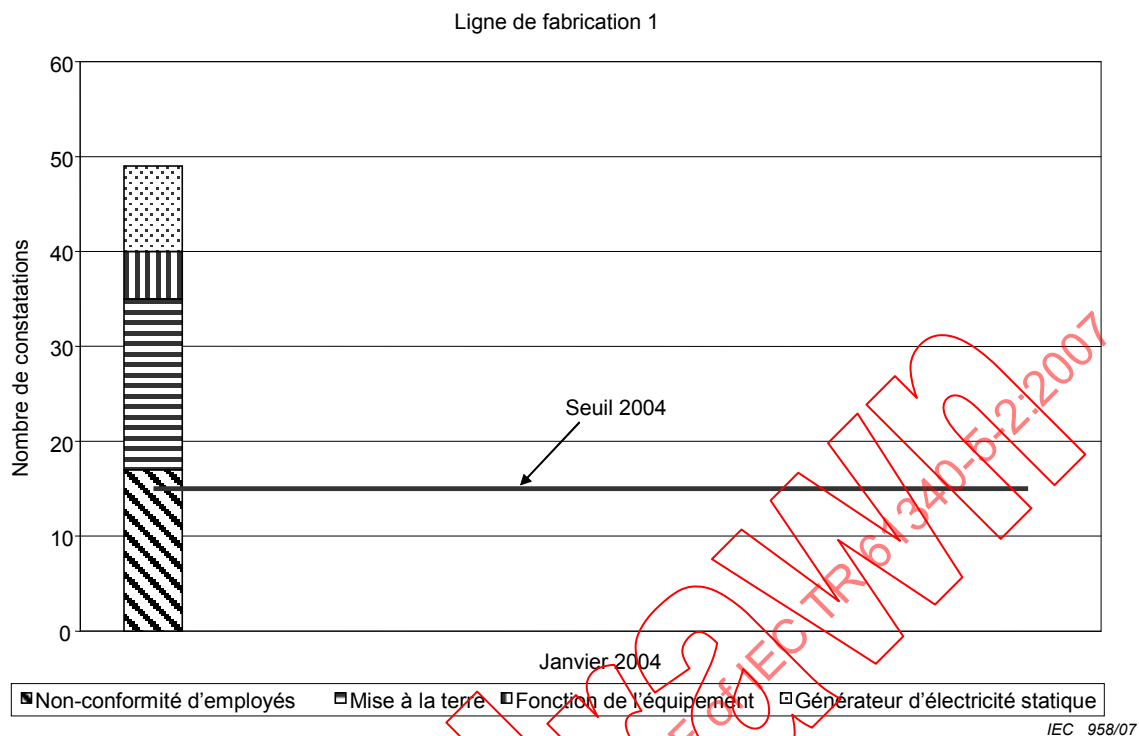


Figure 2 – Exemple de rapport d'audit montrant les seuils pour la ligne de fabrication

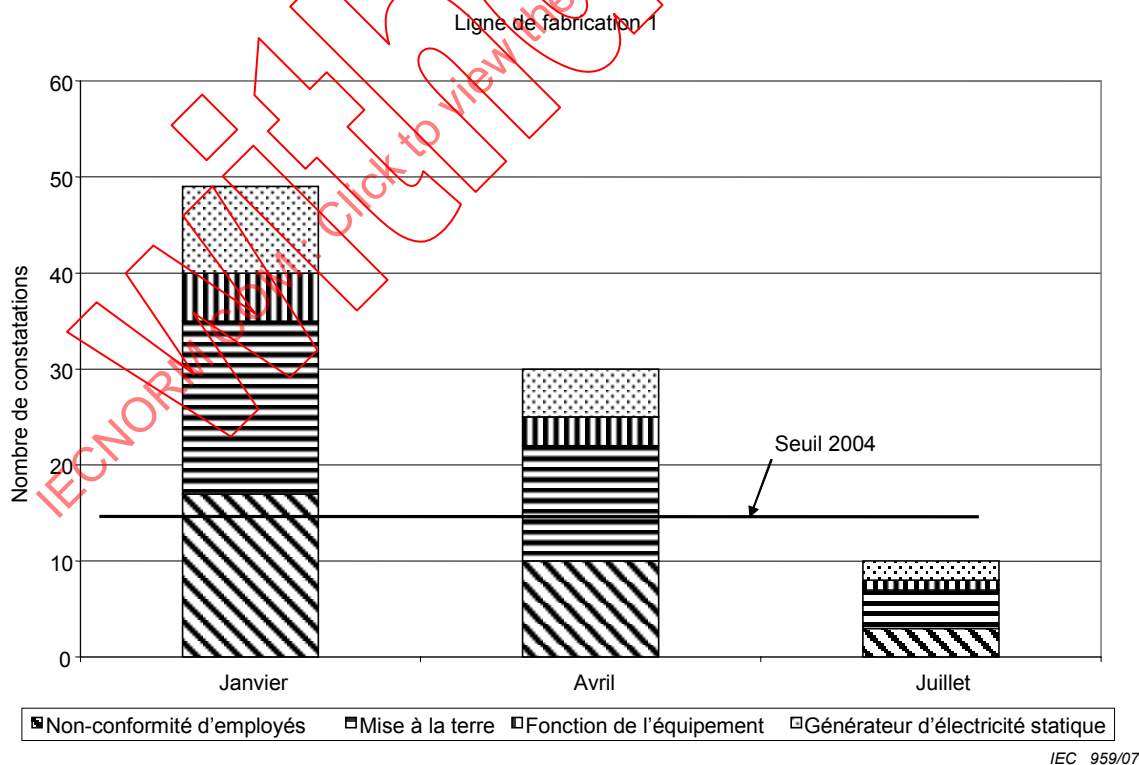


Figure 3 – Exemple de rapport d'audit montrant un diagramme de tendance

4.4 Systèmes de liaison ou de mise à la terre

4.4.1 Introduction

La protection des dispositifs sensibles aux décharges électrostatiques (ESDS) est réalisée en prévoyant un chemin de terre pour mettre les matériaux de protection contre les ESD et le personnel au même potentiel électrique. Tous les éléments conducteurs et dissipatifs dans l'environnement, y compris le personnel, doivent être raccordés ou connectés électriquement à un point de connexion commun ou à un point de terre connu. Cette connexion entraîne un partage de la charge qui égalise la tension sur tous les éléments et personnes et empêche les décharges électrostatiques au niveau des dispositifs sensibles aux ESD. La protection électrostatique peut être maintenue à un potentiel différent du potentiel de la terre (la tension nulle) tant que tous les éléments dans le système sont au même potentiel.

NOTE Il est important de comprendre que les matériaux isolants ne peuvent pas perdre leur charge électrostatique lorsqu'ils sont raccordés à la terre. La manipulation des matériaux isolants est traitée en 4.6 d). Le présent paragraphe fournit des indications et des procédures nécessaires pour établir un raccordement à la terre efficace. Cette étude est limitée à la mise à la terre dans le cadre des décharges électrostatiques.

4.4.2 Exigences élémentaires de mise à la terre

La première étape pour garantir que tout ce qui se trouve dans une EPA est au même potentiel électrique consiste à mettre à la terre tous les composants conducteurs de la zone de travail (surfaces de travail, personnes, équipements, etc.) en les raccordant à l'un des points suivants.

4.4.2.1 Terre de protection ou terre fonctionnelle

La référence de terre électrique (terre de protection) dans le cadre des décharges électrostatiques utilise le conducteur de mise à la terre des équipements qui fait partie du système d'alimentation électrique. L'utilisation de la terre de protection comme terre de référence pour les éléments de maîtrise des ESD assure que les éléments de maîtrise des ESD et tous les équipements alimentés en électricité sont au même potentiel. Le schéma suivant (Figures 4a, 4b et 4c) montre le conducteur de mise à la terre des équipements utilisé dans trois systèmes d'alimentation électrique différents. Lorsque ce type de terre de référence est utilisé, les éléments de maîtrise des ESD utilisés par une organisation sont connectés au conducteur de mise à la terre des équipements.

Dans les cas où l'organisation ne souhaite pas utiliser le conducteur de mise à la terre d'équipement ou si aucun conducteur de mise à la terre d'équipement n'est disponible, une terre fonctionnelle peut être utilisée. La terre fonctionnelle est une électrode de mise à la terre séparée qui est utilisée comme la terre de référence pour tous les éléments de maîtrise des ESD utilisés par l'organisation. Il est recommandé, si possible, de relier le système de terre fonctionnelle au système de terre électrique (le cas échéant), afin d'éliminer des différences de potentiel entre les deux systèmes de mise à la terre.

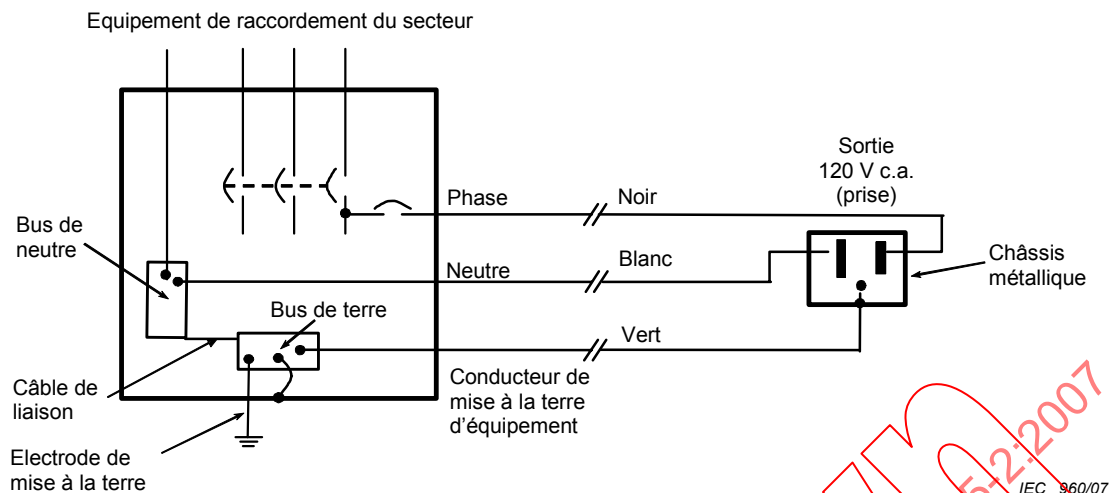


Figure 4a – Système d'alimentation électrique en Amérique du Nord

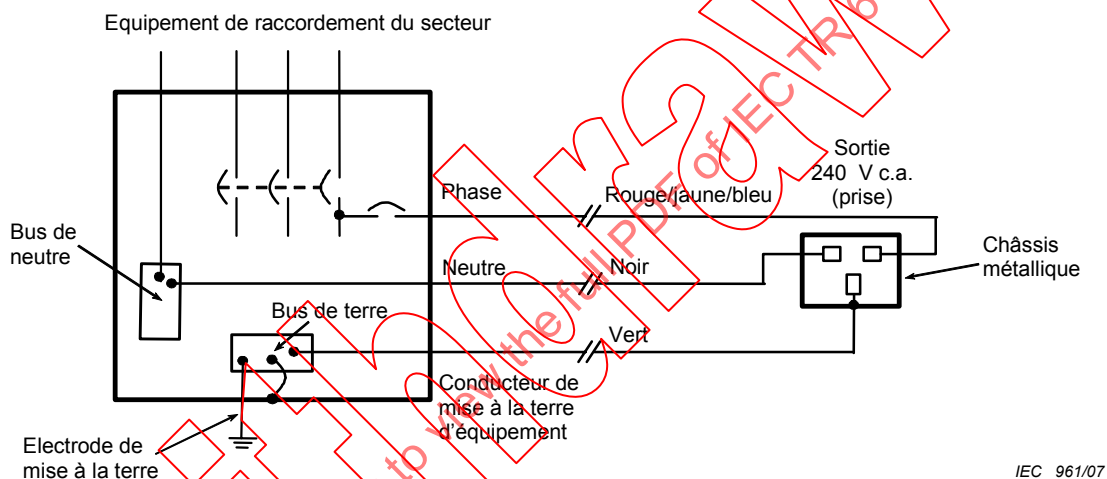


Figure 4b – Système d'alimentation électrique en Malaisie

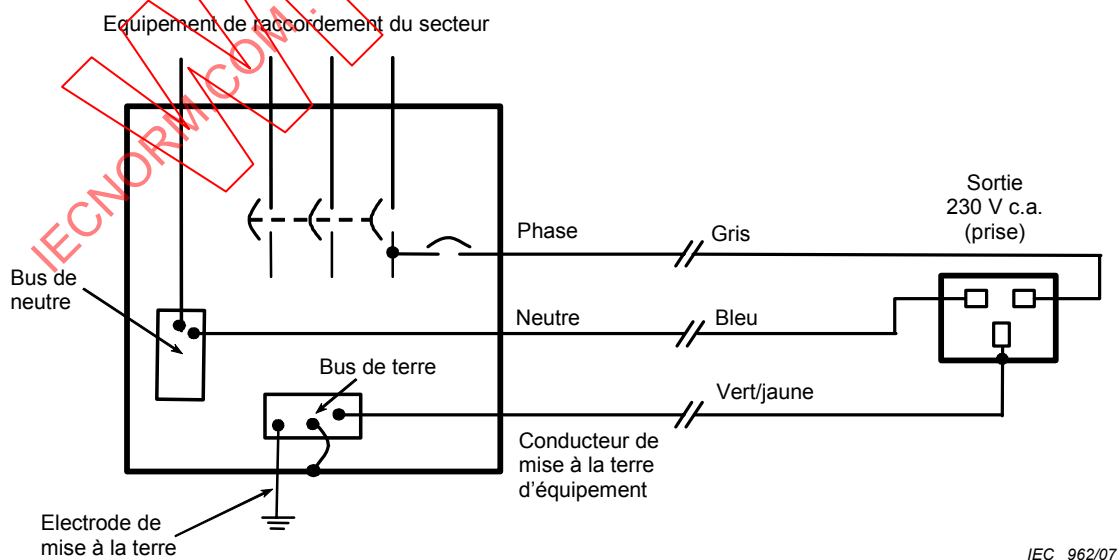


Figure 4c – Système d'alimentation électrique au Royaume-Uni – Système monophasée

Figure 4 – Système d'alimentation électrique pour différents pays

4.4.2.2 Point de connexion commun (liaison équipotentielle)

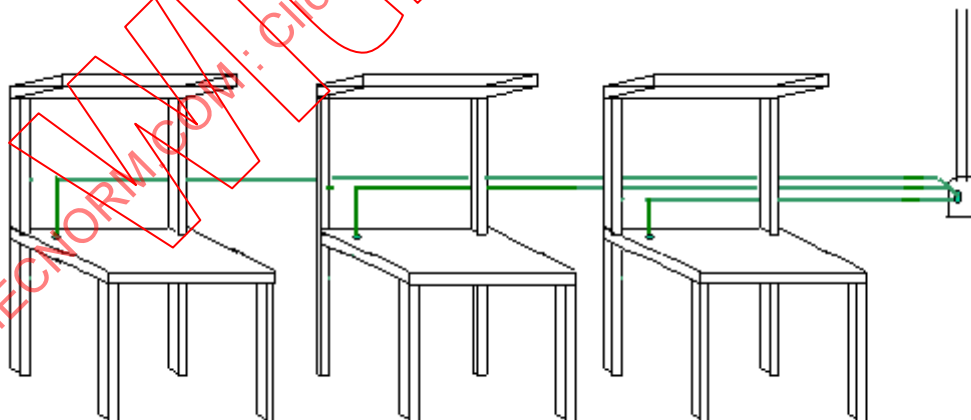
Lorsqu'il n'y a pas de système de mise à la terre disponible, un programme de maîtrise des ESD peut toujours être établi en raccordant tous les éléments de maîtrise des ESD et d'autres conducteurs de taille importante à un point de connexion commun. Le point de connexion commun n'est pas relié à la terre, mais les éléments attachés au point de connexion commun seront tous au même potentiel, ce qui réduit au minimum les défaillances des ESDS. Le point de connexion commun peut être un seul point conducteur où les fils de mise à la terre de chacun des éléments de maîtrise des ESD sont attachés, ou il peut s'agir d'un grand élément conducteur tel que l'armature métallique d'un poste de travail.

On observe souvent un exemple concret dans les opérations de maintenance des équipements de bureau. Pour des raisons de sécurité, le technicien de maintenance débranche souvent le cordon d'alimentation en courant alternatif qui déconnecte l'équipement de la terre. Pour installer des cartes ou des composants sensibles aux ESD dans l'équipement, il est nécessaire de relier électriquement le technicien de maintenance, l'armature de l'équipement et le produit sensible aux ESD. Lorsqu'ils sont reliés ensemble, aucune décharge électrostatique ne peut se produire entre les éléments reliés lorsque le technicien manipule le produit ou lorsqu'il l'installe dans l'équipement de bureau.

4.4.3 Autres considérations sur la mise à la terre

Les aéronefs, les navires et les véhicules de surface ont généralement un bus de terre ou un conducteur de terre qui convient pour être utilisé comme terre ESD. Ce scénario est semblable à la liaison équipotentielle.

Il est bon de connecter chaque surface de travail directement à la terre. La Figure 5 est un exemple de la méthode recommandée. Toutefois, de nombreuses sociétés connectent les surfaces de travail à la terre en série, comme cela est représenté sur la Figure 6. La connexion des surfaces de travail en série peut être à l'origine d'une situation dans laquelle plusieurs surfaces de travail deviennent isolées de la terre si l'unique fil de mise à la terre casse. C'est pourquoi ce type de mise à la terre n'est pas recommandé.



IEC 963/07

Figure 5 – Exemple de bancs mis à la terre individuellement – Recommandé

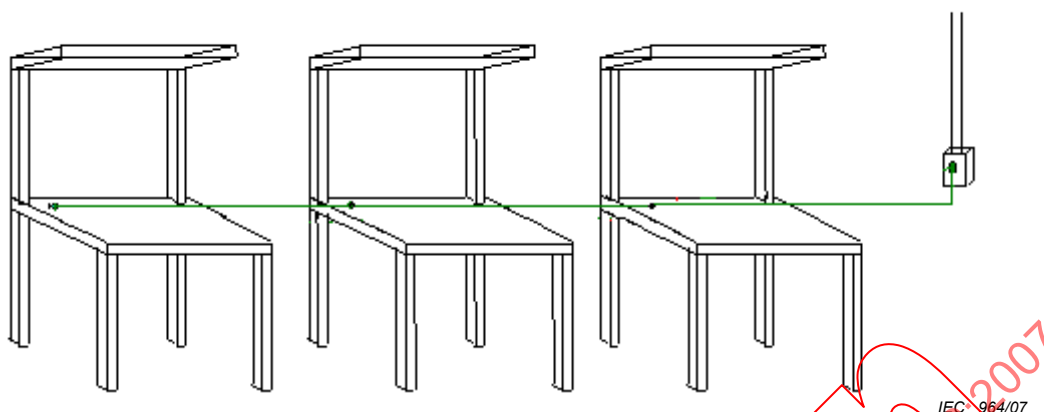


Figure 6 – Exemple de bancs connectés en série à la terre – Non recommandé

4.4.4 Vérification du système de mise à la terre ESD

4.4.4.1 Terre de protection

Pour les programmes de maîtrise des ESD qui utilisent le conducteur de mise à la terre de l'équipement pour mettre à la terre les éléments de maîtrise des ESD, il est nécessaire de vérifier l'intégrité du système électrique. Les valeurs utilisées peuvent varier en fonction des exigences des codes électriques dans chaque pays. Cependant, il convient de vérifier certains éléments pour tout programme de maîtrise des ESD qui utilise le conducteur de mise à la terre des équipements.

- Il convient que l'impédance du conducteur de mise à la terre des équipements satisfasse aux exigences des codes électriques nationaux.
- Le système électrique est correctement câblé pour assurer que les éléments de maîtrise des ESD sont raccordés à la terre et non à une partie sous tension du système électrique.

4.4.4.2 Terre fonctionnelle

Lorsqu'une terre fonctionnelle est utilisée, il est nécessaire de vérifier que le système de mise à la terre satisfait aux codes électriques nationaux pour de tels systèmes. Certains des éléments qui peuvent nécessiter des essais sont:

- la résistivité du sol;
- la résistance à la terre;
- la résistance de l'électrode de mise à la terre.

4.4.4.3 Liaison équipotentielle

Dans le cas où un système de liaison équipotentielle est utilisé, il est important de vérifier que le point de connexion commun est suffisamment conducteur. Il convient que la résistance du point de connexion commun entre deux connexions d'éléments de maîtrise des ESD soit inférieure à 1 Ω lorsqu'elle est mesurée en utilisant un ohmmètre continu capable de mesurer une résistance comprise entre 0,1 1 Ω et 1×10^6 1 Ω avec une tension minimale en circuit ouvert de 1,5 V.

4.4.5 Vérification de l'installation correcte des éléments de maîtrise des ESD

Lorsque la terre ESD de référence a été vérifiée, il est important de s'assurer que chaque élément de maîtrise des ESD utilisé est raccordé à la terre de référence. La connexion de chaque élément de maîtrise des ESD à la terre de référence doit d'abord être vérifiée. Ensuite, en utilisant la norme ou la méthode d'essai et les limites pour chaque élément de maîtrise des ESD donnés aux Tableaux 2 et 3 de la CEI 61340-5-1, vérifier que la résistance à la terre (ou au point de connexion commun) satisfait à la limite exigée.

4.5 Mise à la terre du personnel

La mise à la terre du personnel est un élément technique essentiel exigé dans la CEI 61340-5-1, qui doit être traité quand le personnel est impliqué dans la manipulation de dispositifs sensibles aux ESD non protégés. Il existe deux moyens de satisfaire à ces exigences. Le premier consiste à utiliser un système de bracelet antistatique et le deuxième à utiliser un système de chaussures et de revêtement de sol. Le choix dépend de plusieurs facteurs tels que les actions physiques et les environnements de l'individu ainsi que le coût potentiel de chaque moyen. Les deux techniques de système incluent la personne, les éléments de maîtrise (c'est-à-dire le bracelet antistatique, le revêtement de sol et les chaussures) et la connexion à la terre. Les types, l'utilisation et d'autres informations essentielles sur les bracelets antistatiques, les revêtements de sol et les chaussures sont décrits en 4.5.2 et 4.5.3.

4.5.1 Exigences du système

Une charge électrostatique peut s'accumuler sur un corps à cause des mouvements de celui-ci. La charge génère un potentiel ou une tension électrostatique entre le corps et la terre. La décharge sur un dispositif sensible aux décharges électrostatiques peut endommager ce dernier. Les procédures décrites dans la CEI 61340-5-1 sont conçues pour protéger les dispositifs sensibles aux tensions supérieures ou égales aux 100 V du modèle du corps humain. Pour maintenir la tension du corps d'une personne à moins de 100 V, le corps doit être électriquement connecté à la terre ou les différences de potentiel doivent être éliminées en reliant ensemble tous les éléments de maîtrise des ESD.

Avec un système connecté à la terre, on doit avoir un certain degré d'assurance que la tension du corps reste sous les 100 V lorsqu'il est connecté en série à une résistance à la terre. Cette résistance est un facteur clé de limitation de la tension observée sur le corps. Pour un mouvement donné du corps, la tension atteinte augmente avec la résistance. Les essais effectués par le comité d'études 101 de la CEI ont montré qu'une résistance de $3,5 \times 10^7 \Omega$ ou moins est nécessaire pour limiter la tension du corps à moins de 100 V. La Figure 7 montre la relation entre la tension du corps et la résistance à la terre.

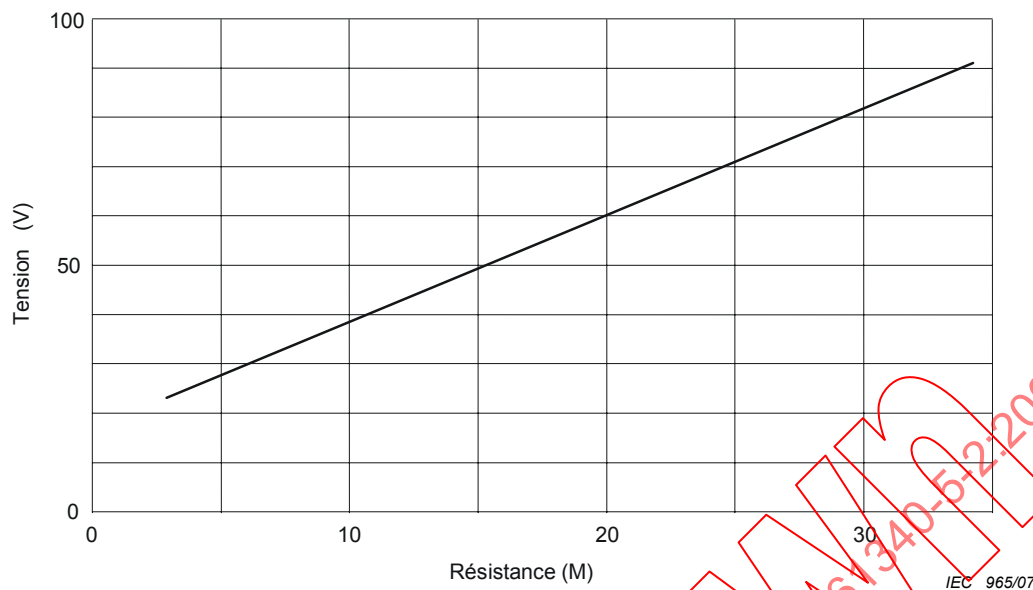


Figure 7 – Relation entre la tension du corps et la résistance à la terre

4.5.2 Système de bracelet antistatique

Un système de bracelet antistatique comporte trois éléments: la personne, le cordon de terre et une bande de poignet. Pour s'assurer que la résistance à la terre du personnel est conforme aux spécifications, il est important de mesurer tout le système (c'est-à-dire du corps des personnes jusqu'à l'extrémité du cordon de terre).

Le bracelet antistatique est le moyen le plus communément utilisé pour connecter des personnes à la terre. Le bracelet antistatique est exigé dans la CEI 61340-5-1 pour les opérations dans lesquelles un individu est assis lorsqu'il manipule ou traite des composants ou des éléments sensibles aux ESD. La raison de cette exigence est que les systèmes de revêtement de sol et de chaussures peuvent ne pas offrir un contact fiable à la terre, puisque les pieds peuvent se soulever du sol lorsque la personne est assise.

Bien qu'un bracelet antistatique relie une personne à la terre quand elle se tient debout, le cordon de terre constitue souvent une gêne pour la personne qui le porte. Dans de telles situations, les organisations préfèrent souvent utiliser un système de chaussures et revêtement de sol pour raccorder les employés à la terre.

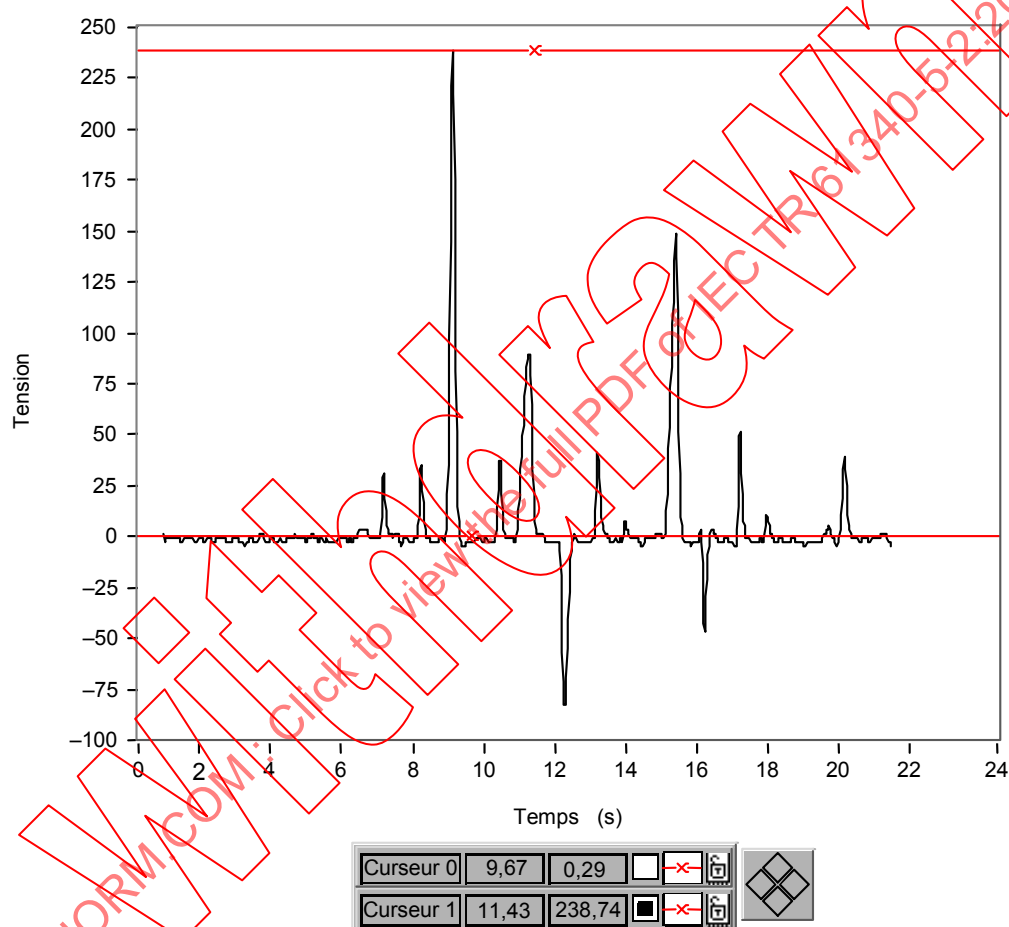
4.5.3 Système de chaussures et revêtement de sol

Le personnel peut également être raccorder à la terre par un système de chaussures et de revêtement de sol. Cette méthode est utile quand le personnel est mobile ou quand le personnel se trouve dans des zones où les bracelets antistatiques ne peuvent pas être installés et des ESDS doivent être manipulés ou transportés. Le raccordement à la terre est maintenu par l'utilisation de revêtements de sol dissipatifs ou conducteurs et de chaussures dissipatives ou conductrices. Des systèmes de chaussures et de revêtement de sol peuvent être utilisés pour offrir un élément de maîtrise des ESD de secours pour le personnel raccorder à la terre par un bracelet antistatique.

Lorsque des systèmes de chaussures et de revêtement de sol sont utilisés comme seul système de mise à la terre du personnel, la résistance à la terre comprenant la personne, les chaussures et le revêtement de sol doit être identique à celle spécifiée pour les bracelets antistatiques ($< 3,5 \Omega \times 10^7 \Omega$) à tout moment. Si un système de chaussures et revêtement de sol de résistance plus élevée est utilisé, la résistance totale à la terre doit être inférieure à 1,0

$\Omega \times 10^9 \Omega$ et la tension maximale sur une personne doit être inférieure à 100 V (moyenne des cinq crêtes les plus élevées) dans les conditions les plus défavorables.

Certaines options des chaussures antistatiques incluent des chaussures diminuant le risque d'ESD, des lanières de mise à la terre de talon et des couvertures pour chaussures. Si les chaussures antistatiques ne recouvrent pas complètement le dessous du pied, une charge peut être générée, surtout lorsque la personne marche. On rencontre ceci par exemple lorsque des lanières de mise à la terre de talon sont utilisées. Le diagramme suivant (Figure 8) représente la tension sur le corps d'une personne qui porte deux lanières de mise à la terre de talon et qui marche sur un sol conducteur. La tension sur le corps de la personne n'est pas contrôlée parce que la lanière de mise à la terre du talon n'est pas en contact continu avec la surface conductrice du sol.



IEC 966/07

Figure 8 – Tension sur le corps d'une personne qui porte deux lanières de mise à la terre de talon et qui marche sur un sol conducteur

Les lanières de talon peuvent être une partie efficace d'un programme de maîtrise des ESD lorsqu'elles sont utilisées pour des opérations en position debout, à condition qu'une lanière soit portée sur chaque pied, et on estime acceptable le risque de décharge électrostatique due à la perte de contact occasionnelle avec la terre. Il convient de ne pas les utiliser dans un processus dans lequel des ESDS non protégés sont transportés à la main dans l'EPA.

Deux méthodes d'essai sont utilisées pour mesurer le système de chaussures et de revêtement de sol associé à une personne. La CEI 61340-4-5 a été développée pour mesurer :

- La résistance du système électrique des matériaux du revêtement de sol associée à une personne qui porte des chaussures antistatiques. Cet essai peut être utilisé pour évaluer

des systèmes avant l'installation ou être utilisé avec des revêtements de sol installés. Cette méthode d'essai peut être utilisée pour caractériser n'importe quel matériau de revêtement de sol de protection contre les ESD. Ces matériaux incluent tous les revêtements de sol (par exemple du carrelage, des tapis, des revêtements époxy, stratifiés, des paillasons, des enduits ou des peintures).

- b) La deuxième méthode d'essai propose une façon de caractériser le comportement des ESD des matériaux des revêtements de sol et des chaussures, en mesurant la génération de charge du revêtement de sol, des chaussures et de la personne comme un système. Cette méthode d'essai peut être utilisée pour évaluer des systèmes avant l'installation ou être utilisée avec les revêtements de sol installés. Cette méthode d'essai peut être utilisée pour caractériser n'importe quel matériau de revêtement de sol de protection contre les ESD. Ces matériaux incluent tous les revêtements de sol (par exemple du carrelage, des tapis, des revêtements époxy, stratifiés, des paillasons, des enduits ou des peintures).

4.6 Zones protégées (EPA)

Une zone protégée contre les ESD (EPA) est une zone qui est équipée des éléments de maîtrise des ESD nécessaires pour réduire au minimum les risques de détérioration des dispositifs sensibles aux ESD.

Au sens large, une zone protégée est capable de contrôler l'électricité statique sur tous les éléments qui entrent dans cette zone de travail. Le personnel et d'autres éléments conducteurs ou dissipatifs doivent être électriquement connectés les uns aux autres et reliés à la terre (ou à un point de connexion commun quand il n'y a pas de terre) pour que tous les éléments soient au même potentiel électrique. La taille d'une EPA peut considérablement varier. Une zone protégée peut être un poste de travail permanent dans une salle ou l'étage entier d'une usine comprenant des milliers de postes de travail. Une zone protégée peut également être une surface de travail portable ou un tapis tels que ceux utilisés pour la maintenance sur le terrain.

La CEI 61340-5-1 établit plusieurs exigences sur la manipulation des ESDS de la manière suivante:

- a) Les dispositifs sensibles aux ESD doivent être manipulés à l'intérieur d'une EPA. Ceci signifie que, pour n'importe quelle opération dans laquelle des ESDS non protégés sont manipulés, tous les éléments qui peuvent entrer en contact avec les ESDS doivent être reliés à la terre ESD définie ou doivent être reliés ensemble pour former une liaison équipotentielle. Si le dispositif sensible aux ESD doit quitter l'EPA, il doit être protégé pour ne pas être endommagé. Il est possible d'utiliser des emballages de protection contre les ESD ou un dispositif de transport conçu spécialement pour transporter des ESDS d'une EPA à l'autre.
- b) La frontière des EPA doit être bien définie. Des signes et des marquages appropriés doivent identifier les zones protégées, de sorte que toute personne qui entre dans la zone, y compris les visiteurs, soit informée des précautions spéciales nécessaires. Exemples de signes et de marquages appropriés: des signes physiques, des adhésifs au sol marquant la frontière de l'EPA, des carreaux de couleurs différentes au sol ou n'importe quelle autre méthode qui définit la frontière d'une EPA. L'organisation doit s'assurer que les formations de sensibilisation aux ESD présentent clairement aux nouveaux employés les règles des EPA et la façon dont les EPA sont identifiées.
- c) L'accès aux EPA est limité aux personnes qui ont suivi avec succès la formation sur les ESD. Si des fournisseurs, des clients, de nouveaux employés ou d'autres visiteurs doivent entrer dans l'EPA, ils doivent être escortés par une personne qui a suivi la formation de sensibilisation aux ESD.
- d) L'organisation doit s'assurer que les matériaux isolants dont le rôle n'est pas essentiel sont retirés de toutes les EPA. Les matériaux isolants nécessaires dans le cadre du processus de fabrication doivent être contrôlés pour déterminer s'ils constituent ou non une menace pour les dispositifs sensibles aux ESD. La CEI 61340-5-1 a identifié deux méthodes actuellement utilisées dans le monde entier pour manipuler des matériaux isolants exigés par les processus.

- 1) Certaines organisations mesurent la force du champ électrostatique au point ou à l'emplacement où des ESDS sont manipulés. Dans cette situation, la force du champ ne doit pas dépasser 10 000 V/m.
- 2) D'autres organisations mesurent le champ sur chaque élément introduit dans l'EPA. Dans ce cas, le potentiel électrostatique de l'élément est mesuré à une distance prédéfinie par rapport au matériau isolant (par les consignes d'utilisation de l'appareil de mesure). Pour ce type de mesure, le potentiel maximal acceptable est 2 000 V. Si la mesure dépasse 2 000 V, il faut alors appliquer l'une des méthodes suivantes :
 - i) le matériau isolant doit être maintenu à au moins 30 cm de l'ESDS ;
 - ii) s'il n'est pas possible d'appliquer la distance de 30 cm, l'organisation utilisera l'ionisation ou d'autres méthodes pour réduire les niveaux de charge générés dans le processus. Outre l'ionisation, l'utilisation de traitements chimiques sur la surface des matériaux isolants ou le contrôle de l'humidité à l'intérieur de l'EPA sont deux méthodes qui peuvent être utilisées pour ramener les niveaux des champs électrostatiques mesurés aux niveaux acceptables.

4.7 Eléments de maîtrise des ESD

Les paragraphes suivants décrivent certains des différents éléments de maîtrise des ESD qui peuvent être utilisés dans le cadre du développement d'un programme de maîtrise des ESD en conformité avec la CEI 61340-5-1.

4.7.1 Surfaces de travail

4.7.1.1 Remarques générales

Les surfaces de travail jouent un rôle essentiel dans la conception et la mise en œuvre d'une EPA. Les surfaces de travail conçues pour la maîtrise des ESD sont utilisées dans les zones de production et de réparation ainsi que pour la maintenance sur le terrain. La plupart des zones dans lesquelles des ESDS non protégés sont manipulés, réparés ou soumis aux essais exigent une surface de travail dont la forme est conçue pour dissiper les charges électrostatiques. La surface de travail est un composant essentiel à l'établissement d'un environnement de travail à protection antistatique. La surface de travail est considérée par la plupart des industriels comme le deuxième élément le plus important d'un programme de maîtrise des ESD, après la mise à la terre du personnel.

Le but principal d'une surface de travail correctement mise à la terre est d'assurer que les éléments manipulés et la zone de travail sont au même potentiel électrique. Les surfaces de travail ont les fonctions suivantes.

- une surface de travail conçue pour maîtriser l'électricité statique fournit un chemin électrique jusqu'à la terre ou jusqu'à un point de connexion commun dans le cas d'une liaison équipotentielle. Ceci permet de décharger de façon contrôlée les éléments non isolants placés sur la surface de travail ;
- dans certains cas, la surface de travail peut définir la frontière d'une zone de travail ESD dans laquelle un ESDS peut être manipulé.

4.7.1.2 Facteurs de choix des surfaces de travail

Plusieurs facteurs sont à prendre en compte pour choisir une surface de travail appropriée. Les facteurs principaux sont les suivants:

- les activités de la zone de travail;
- la permanence de la zone de travail;
- les considérations physiques;
- les considérations chimiques;
- les considérations électriques;
- les considérations de sécurité;

- la maintenance du matériel.

4.7.1.2.1 Activités de la zone de travail

Le type de travail réalisé déterminera le type de surface de travail requis. Si les éléments manipulés sont sensibles aux chocs mécaniques, alors un matériau qui amortit les chocs peut être requis. Si des produits lourds avec des bords pointus sont déplacés autour de la surface de travail, alors une surface plus résistante peut être nécessaire. Les opérations dans lesquelles le personnel est exposé à des tensions élevées peuvent nécessiter l'utilisation de surfaces de travail qui limitent le courant si la source d'alimentation entre en contact avec la surface de travail. Les surfaces de travail utilisées dans les salles blanches peuvent également nécessiter des considérations spéciales, par exemple la contamination particulaire et le dégagement gazeux. L'inflammabilité des matériaux des surfaces de travail peut nécessiter une enquête pour satisfaire aux exigences de l'entreprise, des compagnies d'assurance ou des indices de sécurité.

4.7.1.2.2 Permanence de la zone de travail

Il est nécessaire de bien comprendre le fonctionnement pour choisir des matériaux appropriés pour les surfaces de travail. Certaines considérations sont les suivantes:

- Les activités de la maintenance sur le terrain nécessitent souvent une surface de travail totalement portable qui peut tenir dans une trousse à outils ou dans la poche du technicien. Cette surface de travail doit être conçue de telle sorte qu'elle puisse résister à une manipulation continue et être souvent branchée et débranchée de la terre. La surface de travail peut également devoir rester pendant plusieurs années dans la trousse à outils du technicien.
- Si des revêtements chimiques enrobants sont utilisés sur une surface de travail, ils peuvent augmenter la résistance à la terre jusqu'à empêcher la surface de travail de fonctionner. Dans un tel cas, une surface de travail jetable peut être plus économique.

4.7.1.2.3 Considérations physiques

La plupart des surfaces de travail nécessitent une certaine durée de vie. Les facteurs de durée de vie qu'il convient de prendre en considération sont la rigidité, la résistance à l'abrasion et la résistance à la déchirure. Certaines surfaces de travail peuvent nécessiter des matériaux spéciaux résistants à la chaleur. Les postes à souder, par exemple, peuvent nécessiter des surfaces de travail conçues pour résister à la chaleur.

L'apparence constitue souvent un important facteur de choix d'une surface de travail. Les couleurs peuvent également être utilisées pour distinguer différentes opérations ou pour représenter l'identité de l'entreprise. La réflexion de la lumière peut être une considération ergonomique importante. Il convient que les surfaces de travail portables soient plates lorsqu'elles reposent sur le support. Il est recommandé d'examiner l'apparition de courbures avec le temps pendant le processus de qualification. Il convient d'évaluer la fonctionnalité, la durée de vie et la fiabilité du système de mise à la terre de la surface de travail pendant les essais de qualification.

4.7.1.2.4 Considérations chimiques

Un transfert chimique depuis la surface de travail peut être à l'origine d'une contamination qui peut entraîner la corrosion des pièces métalliques sensibles. Les solvants et autres produits chimiques manipulés au niveau du poste de travail peuvent avoir des effets adverses sur la surface de travail. Il convient d'évaluer la compatibilité requise du matériau de la surface de travail pendant le processus de qualification.

4.7.1.2.5 Considérations électriques

La considération fonctionnelle la plus importante pour des surfaces de travail est la résistance entre le point le plus haut de la surface et le point connectable à la terre. Ceci établit la résistance du raccordement primaire jusqu'à la terre pour les éléments placés sur la surface.

La CEI 61340-5-1 a défini une plage de résistances à la terre pour les surfaces de travail inférieures à $1,0 \times 10^9 \Omega$.

Cependant, il est parfois nécessaire d'utiliser des surfaces de travail bien plus conductrices. Ceci est permis dans la CEI 61340-5-1, mais les raisons d'utiliser une surface de travail plus conductrice doivent être documentées dans le plan du programme de maîtrise des ESD.

4.7.1.2.6 Considérations de sécurité

Les postes de travail où l'on rencontre des potentiels électriques dangereux peuvent nécessiter des propriétés électriques sensiblement différentes. Les valeurs de la résistance à la terre et de la résistance de point à point peuvent devoir être augmentées lorsqu'une tension de secteur est présente.

NOTE Il est possible que les mesures de la résistance en continu ne permettent pas de prendre de décisions de sécurité.

4.7.1.3 Types de matériaux de surface de travail

Il existe une grande variété de matériaux et de formes de surfaces de travail, en constante évolution. Les propriétés de ces différents matériaux varient (mécaniques, physiques et électriques). Bien qu'il existe de nombreuses variétés de surfaces de travail, deux classes élémentaires de matériaux de surface de travail sont disponibles: les monocouches et les multicouches. Certaines surfaces de travail, en particulier les monocouches et les stratifiés haute pression, peuvent avoir un certain degré de dépendance à l'humidité. Il convient de contrôler les performances de ces matériaux à basse humidité avant de les choisir et de les installer.

4.7.1.3.1 Matériaux de surface de travail monocouches

Les matériaux de surface de travail homogènes ou monocouches sont des matériaux dont les propriétés électriques et physiques ne varient pas dans le matériau. Des matériaux de type tapis flexibles ou surfaces rigides existent avec différentes plages de résistances. Les mesures de la résistance de point à point (R_p) et de la résistance à la terre (R_g) peuvent varier avec la distance entre les électrodes ou entre l'électrode et le point connectable à la terre de la surface de travail.

4.7.1.3.2 Matériaux de surface de travail multicouches

Les matériaux de surface de travail multicouches sont généralement constitués de 2 ou 3 couches distinctes. La surface supérieure est normalement une couche de matériau dissipatif dont l'épaisseur et les propriétés électriques varient en fonction du produit. La couche suivante est généralement fortement conductrice. Certaines formes ont une couche inférieure faite de matériaux isolants ou dissipatifs. La résistance électrique de point à point et la résistance à la terre sont généralement constantes, quelle que soit la distance entre les électrodes ou entre une seule électrode et le point connectable à la terre de la surface de travail. Le facteur de contrôle est la résistance verticale à travers la surface supérieure jusqu'à la couche conductrice. Une bonne connexion entre le point connectable à la terre et la couche conductrice est essentielle pour garantir une bonne dissipation des charges.

4.7.1.3.3 Stratifiés haute pression

Ces matériaux sont rigides et sont appliqués sur un substrat, généralement à l'aide d'adhésifs. La majorité de ces matériaux suivent la description multicouches présentée ci-dessus. Toutefois, certains types sont de construction homogène.

Puisque les propriétés électriques de nombreux stratifiés haute pression ont un certain degré de dépendance à l'humidité, il convient de contrôler soigneusement les performances de tous les matériaux stratifiés à haute pression à basse humidité avant de les choisir et de les installer.

4.7.1.3.4 Matériaux de tapis (roulé)

Les matériaux utilisés pour les tapis sont généralement des systèmes flexibles utilisés pour recouvrir des substrats non protecteurs ESD. Une autre application courante est l'utilisation des tapis au-dessus des stratifiés haute pression diminuant le risque d'ESD pour offrir une surface moins dépendante à l'humidité dans des environnements dans lesquels l'humidité relative varie avec les saisons. Les tapis existent dans différentes plages de résistances et peuvent être de types multicouches ou homogènes.

4.7.1.3.5 Surfaces de travail portables (maintenance sur le terrain)

Il existe différentes formes de surfaces de travail portables (multicouches ou homogènes) qui satisfont aux exigences établies et aux mêmes besoins en matière de maîtrise des ESD que ceux des surfaces de travail fixes. Les surfaces de travail pour la maintenance sur le terrain sont généralement conçues pour être pliées et tenir dans une trousse à outils ou dans la poche du technicien.

4.7.1.4 Essais

Une procédure qui peut être utilisée pour contrôler la résistance électrique des matériaux d'une surface de travail est décrite dans la CEI 61340-2-3. La méthode d'essai des mesures de résistance à la terre ou à un point connectable à la terre doit être utilisée.

4.7.1.4.1 Evaluation

Dans le processus de choix, on évalue souvent des échantillons de surface de travail dans des conditions de laboratoire dans lesquelles les éléments tels que l'humidité, la température et la tension d'essai sont contrôlés. La résistance est mesurée pour des tensions d'essai de 10 V et de 100 V avec une humidité modérée et basse.

4.7.1.4.2 Réception ou installation initiale

Lorsqu'elles sont installées pour la première fois, il convient de contrôler les surfaces de travail pour s'assurer qu'elles fonctionnent et qu'elles satisfont aux spécifications. Généralement, on mesure la résistance entre le point le plus haut de la surface de travail et la terre, pour s'assurer que la surface de travail a été correctement installée. Il convient de vérifier la connexion à la terre de la surface de travail avant de manipuler des dispositifs sensibles aux ESD sur la surface de travail. Si un essai d'évaluation n'est pas effectué, il est recommandé d'effectuer des mesures de résistance de point à point pour connaître les caractéristiques du matériau.

4.7.1.4.3 Essais périodiques

Des essais périodiques des surfaces de travail sont nécessaires pour s'assurer qu'elles satisfont toujours aux spécifications. Les mesures de la résistance à la terre sont généralement utilisées pour vérifier que le raccordement à la terre est intact. Dans les cas où la mesure de la résistance à la terre dépasse les limites de résistance établies, les étapes suivantes peuvent permettre d'identifier la cause des mesures de résistance élevées:

- Vérifier visuellement que la surface de travail est connectée à la terre de référence.
- Nettoyer la surface de travail. Une surface sale peut parfois être à l'origine d'une résistance anormalement élevée. Répéter la mesure de la résistance à la terre une fois la surface nettoyée (l'électrode de mesure de résistance doit également être nettoyée). Si la deuxième mesure est conforme aux spécifications, il peut être nécessaire de remettre en question les pratiques de nettoyage utilisées par l'organisation.
- Débrancher le fil de mise à la terre et mesurer la résistance entre le haut de la surface de travail et le point connectable à la terre de la surface de travail. Cette mesure doit montrer si la surface de travail fonctionne ou non comme prévu et contrôle la bonne connexion entre le point connectable à la terre et la surface de travail.

- A l'aide d'un ohmmètre, mesurer la résistance du fil utilisé pour mettre la surface de travail à la terre. La mesure est faite à partir du point où le fil est connecté au point connectable à la terre de la surface de travail jusqu'à la terre de référence.

La fréquence des essais périodiques est normalement spécifiée dans les procédures de fonctionnement de l'entreprise. Cependant, il est conseillé d'effectuer ces mesures au moins une fois par trimestre.

4.7.1.5 Maintenance

Un nettoyage périodique, selon les recommandations du fabricant, est nécessaire pour maintenir un bon fonctionnement électrique de toutes les surfaces de travail. Les produits de nettoyage utilisés ne doivent pas laisser de résidus isolants électriques, ce qui est généralement le cas avec les nettoyeurs ménagers qui contiennent de la silicone.

4.7.2 Bracelets antistatiques

4.7.2.1 Introduction

Le bracelet antistatique est un dispositif utilisé pour maintenir les personnes au même potentiel électrique que l'élément sensible aux ESD qu'elles manipulent. Dans la plupart des cas, ceci est fait par une connexion de la personne et des ESDS à la terre ou à un point de connexion commun quand un système de liaison équipotentielle est utilisé. Le présent paragraphe donne des informations pratiques sur l'utilisation, les précautions et la vérification périodique des bracelets antistatiques.

4.7.2.2 Bracelet antistatique

Un bracelet antistatique est généralement constitué d'une bande de poignet en contact avec la peau de celui qui le porte. La bande de poignet est alors attachée à un cordon de mise à la terre qui est relié à la terre ESD de référence.

4.7.2.2.1 Bande de poignet

La bande de poignet est un dispositif flexible qui épouse les formes et est conçu pour établir une connexion continue et fiable avec le poignet d'une personne. Il existe de nombreux types de bandes, dont certains sont présentés dans le Tableau 1.

Les bandes de bracelets antistatiques ont presque toujours une plaque hypoallergénique en métal, généralement en acier inoxydable, sous la boucle ou le bouton-pression, pour garantir un bon contact avec la peau. Le reste de la bande doit également avoir une surface conductrice en contact avec la peau. Ceci assure que le contact se fait sur 360° entre la bande et la peau de la personne.

Les bandes de poignet peuvent avoir un connecteur électrique/mécanique à dégagement rapide correspondant à un connecteur situé à l'extrémité du cordon de terre. Ce connecteur a deux objectifs. D'abord, il s'agit d'une connexion physique pour attacher le cordon de terre. En second lieu, il s'agit du point connectable à la terre sur la bande. Le dégagement rapide est une fonctionnalité importante du connecteur. Il convient que la force de détachement soit suffisamment basse pour permettre un dégagement facile, mais assez haute pour empêcher une déconnexion accidentelle. Si la force de détachement est trop faible, la connexion à la terre peut être rompue sans que la personne ne s'en rende compte. L'expérience a montré que, pour les bracelets antistatiques traditionnels à un seul conducteur, une force de détachement de 13 à 36 newtons est satisfaisante.

Lors de la première sélection des bracelets antistatiques ou lors d'une nouvelle commande pour un programme existant, il est conseillé de spécifier une orientation et une taille des boutons-pression compatibles. Ainsi, les bracelets antistatiques existants et nouveaux seront compatibles. De nombreux fabricants de bracelets antistatiques peuvent adapter la configuration des boutons-pression aux exigences de l'utilisateur à partir d'une certaine quantité de bracelets commandés.

Tableau 1 – Types de bandes de bracelets antistatiques

Fibre élastique tissée avec les fibres conductrices sur la surface intérieure
Tissu élastique tricoté avec les fibres conductrices sur la surface intérieure
Tissu non élastique tissé avec les conducteurs sur la surface intérieure
Bracelet métallique extensible avec résine isolante sur la surface extérieure
Bande de montre-bracelet en résine plastique avec des bandes de feuilles en acier inoxydable sur la surface intérieure
Bracelet de feuilles métalliques mises en forme avec résine isolante sur la surface extérieure
Pastille d'électrode avec l'adhésif conducteur

4.7.2.2.2 Cordon de terre de bracelet antistatique

Le cordon de terre est un fil qui relie la bande du poignet à la terre ou à un point de connexion commun. Il est généralement constitué d'un fil isolé avec une tête de connecteur qui s'attache à la bande sur une extrémité et un dispositif de terminaison sur l'autre extrémité pour la connexion à la terre. Les cordons de terre contiennent généralement une résistance de limitation de courant à l'extrémité où la bande est connectée.

A première vue, le cordon de terre semble relativement simple. Cependant, les exigences de conception sont considérables, étant donné la large plage d'applications des utilisateurs et les exigences de durée de vie associées aux tractions, aux flexions et aux frottements sur les bords des postes de travail et des châssis d'équipements.

Les cordons de terre sont disponibles dans différentes longueurs, avec un fil souple ou en forme de ressort rétractable, avec des résistances à une extrémité ou aux deux extrémités, de différentes couleurs et avec différents types de dispositifs de terminaison de terre. Le fil peut être un fil rosette enroulé hélicoïdal ou linéaire à torons. L'isolation peut être un polymère résistant, un caoutchouc synthétique dur ou du vinyle.

Tout connecteur électrique qui peut être relié à la terre est acceptable tant qu'il est mécaniquement solide. Le point de mise à la terre préféré pour l'extrémité connectable à la terre du cordon est un point relié à la terre ou un point de connexion commun. (Se référer à 4.4.2 pour de plus amples informations.)

NOTE On a remarqué que beaucoup d'utilisateurs de bracelets antistatiques attachent le cordon de terre au bord d'un tapis de protection contre les ESD. Ce processus n'est pas recommandé puisqu'il peut augmenter la résistance à la terre de tout le système au-delà des $3,5 \times 10^7 \Omega$ requis par la CEI 61340-5-1.

4.7.2.3 Sélection et utilisation du bracelet antistatique

Le bracelet antistatique est un système efficace pour relier à la terre les personnes qui manipulent des matériaux sensibles aux ESD. Toutefois, il est important de souligner que, bien que le bracelet antistatique relie la peau à la terre, il ne constitue pas un moyen pour éliminer les charges statiques présentes dans les vêtements et les chaussures, à moins que

ces éléments ne soient conducteurs ou dissipatifs et qu'ils ne soient en contact avec la peau de la personne.

4.7.2.3.1 Utilisation

Pour obtenir l'efficacité maximale, il convient d'utiliser les bracelets antistatiques correctement en respectant les instructions suivantes.

- Il convient de serrer convenablement la bande de bracelet antistatique pour qu'elle soit en contact permanent avec le poignet. Il convient de ne pas trop serrer la bande de poignet, de telle sorte qu'elle ne laisse pas de marques sur le poignet.
- Le bracelet antistatique doit être connecté à une terre ou à un point de connexion commun. Un raccordement continu et fiable permettra une bonne dissipation des charges électrostatiques stockées sur le corps.

4.7.2.3.2 Sélection de bracelet antistatique

Il convient de considérer les facteurs suivants lors du choix et de l'évaluation des bracelets antistatiques.

- Fiabilité
- Durée de vie
- Longueur du cordon de mise à la terre
- Cordon souple ou rétractable
- Configuration du bouton-pression
- Connecteur de terminaison de terre
- Confort

Le confort joue un rôle important dans le choix du bracelet antistatique, puisque le bracelet antistatique doit être porté en permanence. Il convient qu'il ne pénalise pas l'efficacité d'autres fonctions du travail. Il existe de nombreuses conceptions qui intègrent différentes techniques pour offrir un contact parfait avec la peau. Les matériaux utilisés pour ces bracelets antistatiques vont du tissu tissé avec les fibres conductrices aux bandes métalliques flexibles ou d'autres conceptions pour les applications spéciales. Le choix final est fait par l'utilisateur puisque le bracelet doit être compatible avec le processus.

4.7.2.4 Essai des bracelets antistatiques

Puisque les bracelets antistatiques ne durent pas éternellement, il convient de les contrôler périodiquement. Un bon programme d'essai contrôle non seulement le bracelet antistatique même, mais indique également la qualité du contact avec la peau en réalisant un essai du système. La résistance des bandes de bracelets antistatiques sales, de mauvaise taille ou mal portées sera supérieure à la limite acceptable. Les changements climatiques et les changements de personnes peuvent affecter la résistance à la terre. Une peau sèche donne souvent des indications de résistance élevée.

4.7.2.4.1 Essai de fiabilité

Un facteur important dans le choix et l'utilisation des bracelets antistatiques est la fiabilité. Les essais sous contraintes pour prévoir la fiabilité sont coûteux et doivent être effectués par un laboratoire qualifié.

L'analyse du bracelet antistatique pour déterminer la nature d'une défaillance peut être utile. Les zones concernées incluent les problèmes de contact avec la peau, les défaillances au niveau du cordon ou du connecteur. En collectant les données périodiquement, il est possible de déterminer des tendances pour des fabricants ou des styles particuliers. Ces informations seront utiles pour prendre les prochaines décisions d'achat. Il convient de ne plus utiliser les

bracelets antistatiques dont la durée de vie n'est pas adaptée, indépendamment du type de défaillance.

4.7.2.4.2 Essai des bracelets antistatiques sur d'autres utilisateurs

L'essai décrit ici est plus qu'un essai de bracelet antistatique; c'est également un essai de la qualité de la connexion entre la bande et le poignet. Il s'agit d'un essai du bracelet antistatique dans une configuration d'utilisation dite «réelle» que l'on appelle un essai du système. Le but de l'essai du bracelet antistatique en tant que système est de confirmer que la résistance série de tous les éléments dans le système est comprise entre la résistance minimale et la résistance maximale autorisées par les spécifications de l'utilisateur.

Un essai correct du bracelet antistatique inclut la résistance du point connectable à la terre sur l'extrémité du cordon, le cordon même, la résistance de limitation de courant, le connecteur entre le cordon et la bande, la résistance de l'interface du bracelet, l'interface entre le bracelet et le poignet et la résistance de la personne entre le poignet et la main qui est en contact avec l'électrode d'essai. La résistance maximale acceptable pour la mise à la terre du bracelet antistatique est inférieure à $3,5 \times 10^7 \Omega$. Il existe de nombreux dispositifs de contrôle de bracelets antistatiques disponibles dans le commerce pour réaliser cet essai du système. Certains permettent en outre de contrôler le cordon seul. En choisissant un dispositif de contrôle de bracelet antistatique, il est important de lire les spécifications pour savoir si les limites supérieures et inférieures des résistances du contrôleur correspondent aux exigences de l'utilisateur. Sur certains dispositifs de contrôle de bracelets antistatiques, une ou les deux limites peuvent être réglées. Une fois opérationnels, ces dispositifs de contrôle indiqueront si la résistance du système est inférieure, supérieure ou dans les limites de la plage acceptable. Certains testeurs indiqueront seulement si la résistance du système est dans la plage acceptable ou non.

Un essai du système peut également être réalisé en utilisant un ohmmètre tant que cela ne perturbe pas le potentiel d'essai. Une électrode en métal qui peut être tenue à la main est attachée à l'un des conducteurs de l'appareil de mesure. Le fait de tenir une pointe de sonde entre les doigts peut perturber les résultats. En utilisant un ohmmètre pour réaliser cet essai, il est important de comprendre que la résistance de la personne est prise en compte dans la résistance totale du système et que la valeur de cette résistance changera d'une personne à une autre.

4.7.2.4.3 Procédure d'essai

En portant le bracelet antistatique, connecter l'extrémité libre du cordon à la borne du testeur et appuyer sur la touche d'essai ou toucher la surface d'essai en métal avec un doigt ou la main. Si la résistance est supérieure à $3,5 \times 10^7 \Omega$, contrôler la continuité du cordon seul. Si la résistance du cordon seul est d'environ $1,0 \times 10^6 \Omega$, vérifier que la bande est bien ajustée autour du poignet. Attacher de nouveau le cordon sur le bracelet et contrôler une nouvelle fois. Si la résistance est supérieure à $3,5 \times 10^7 \Omega$, remplacer la bande par une nouvelle.

NOTE 1 Les ruptures électriques à l'intérieur du cordon peuvent être contrôlées en soumettant le cordon à des flexions au cours de la mesure.

Si la résistance est toujours trop élevée, la peau sèche peut être à l'origine du problème. Les problèmes de peaux sèches peuvent être résolus en appliquant une lotion hydratante sur le poignet et en répétant l'essai de résistance. Il convient d'utiliser une lotion hydratante compatible avec les exigences du processus et qui ne provoque pas de contamination.

NOTE 2 Les bandes de poignet de type bracelet extensible en métal peuvent retenir de l'humidité et sont plus efficaces pour les personnes à peau sèche.

4.7.2.4.4 Fréquence d'essai

Il convient de contrôler périodiquement les bracelets antistatiques. Toutefois, la fréquence des essais est déterminée par la quantité d'utilisation, d'usure et de risque d'exposition aux

ESD qui peut se produire entre les essais. Par exemple, quel est le nombre de produits manipulés entre deux périodes d'essai?

Puisque les bracelets antistatiques ont une durée de vie finie, il est important de développer une fréquence d'essai qui garantira l'intégrité du système. Selon les programmes d'essai typiques, il est recommandé, pour les bracelets portés quotidiennement, de les contrôler tous les jours. Cependant, si la valeur des produits fabriqués est telle qu'il est nécessaire de garantir une mise à la terre fiable permanente, alors il convient d'envisager ou même d'imposer un contrôle permanent.

Les données provenant du programme d'essai permettront finalement à l'utilisateur de choisir la fréquence à laquelle il convient de contrôler le bracelet antistatique et quels bracelets antistatiques offrent la meilleure durée de vie utile.

4.7.2.5 Limitation de courant

Les bracelets antistatiques ont une résistance de limitation de courant moulée dans la tête du cordon de mise à la terre sur l'extrémité qui se raccorde à la bande. La résistance la plus courante est $1 \times 10^6 \Omega$, 1/4 watt avec une tension nominale de fonctionnement de 250 V. Les résistances limitent le courant, comme cela est défini par la loi d'ohm, à savoir le courant est égal à la tension divisée par la résistance. Dans une application pratique, la quantité maximale de courant qui traverse un cordon de terre de bracelet antistatique s'il est placé aux bornes d'une source de 250 V, est de 250 μA ou de 0,25 mA.

Pour la sécurité des personnes, il est recommandé de ne pas utiliser des bracelets antistatiques qui intègrent une résistance de $1,0 \times 10^6 \Omega$ en présence d'un circuit électrique exposé de 250 Vs ou plus. Certaines options supplémentaires pour des opérations haute tension sont les suivantes:

- Choisir un système de bracelet antistatique qui utilise une résistance plus élevée.
- Isoler intentionnellement l'opérateur par rapport à la terre en utilisant des tapis de sol ou des gants de haute résistance.

NOTE Il existe plusieurs publications qui donnent les limites variables du courant autorisé pour la sécurité des personnes. Par exemple, la plupart des alimentations sont limitées en courant à 5 mA. Pour cette raison, il convient que l'utilisateur consulte la personne détachée à la sécurité locale pour déterminer les exigences relatives à sa zone particulière.

4.7.2.6 Résumé

- Les bracelets antistatiques offrent un moyen efficace pour maintenir le personnel au potentiel de terre ou au même potentiel que les éléments manipulés. Les personnes qui sont au potentiel de terre ou au même potentiel que les ESDs qu'elles manipulent ne peuvent pas se décharger dans les ESDs manipulés ou touchés.
- Les bracelets antistatiques ont généralement une résistance de limitation de courant, généralement de $1,0 \times 10^6 \Omega$, moulée dans le cordon de mise à la terre à proximité du point où le cordon se connecte au bracelet. La résistance a généralement une tension nominale de fonctionnement de 250 V.
- Des bracelets antistatiques sont parfois livrés avec une résistance de $1,0 \times 10^6 \Omega$, moulée aux deux extrémités du cordon de terre quand les deux extrémités du cordon ont le même type de connecteur poussoir.
- Il convient de ne pas porter de bracelets antistatiques dans des endroits où il est possible d'être en contact avec des tensions supérieures à 250 V.
- Il convient que les cordons de terre de bracelet antistatique soient équipés d'un connecteur à dégagement rapide qui se connecte au bracelet, de sorte que les personnes puissent se libérer du poste de travail.
- Il convient de porter confortablement les bandes de bracelet antistatique autour du poignet tout en étant en contact permanent avec la peau.

- Des cordons de terre de bracelet antistatique doivent être connectés à un point connectable à la terre ou à un point de liaison équipotentielle. Ne pas se connecter à un bouton-pression sur un tapis dissipatif, sauf s'il s'agit du point connectable à la terre pour le tapis. Ne pas attacher un bracelet antistatique au bord d'un tapis dissipatif.
- Il convient de contrôler régulièrement les bracelets antistatiques, de préférence tous les jours comme cela est recommandé.

4.7.3 Matériaux de sol de protection contre les ESD

4.7.3.1 Introduction

La cause principale de l'électricité statique est souvent liée au mouvement des personnes et des matériaux dans l'environnement de travail. Ce mouvement, en particulier le contact et la séparation des chaussures avec le sol, génère des charges de l'ordre de plusieurs milliers de volts. De même, le mouvement des chariots mobiles ou tout autre équipement générera des charges électrostatiques. Ce paragraphe passera en revue l'utilisation de matériaux de sol pour dissiper les charges électrostatiques. Il couvrira les revêtements de sol, les enduits de sol, les agents antistatiques locaux, les tapis de sol, les revêtements et les peintures.

4.7.3.2 Fonctions des matériaux de sol de protection contre les ESD

Des matériaux de sol de protection contre les ESD sont utilisés dans l'industrie de l'électronique pour:

- La mise à la terre du personnel (des matériaux de sol peuvent être utilisés associés à des chaussures antistatiques comme une terre primaire ou une terre secondaire, un système de secours, pour les bracelets antistatiques dans des processus ESD critiques)
- La mise à la terre des éléments de maîtrise des ESD comme:
 - les chariots mobiles,
 - les supports ergonomiques utilisés pour soulever le produit à la hauteur de travail des employés,
 - les postes de travail.

Les revêtements de sol, les tapis, les peintures et les enduits aident à maîtriser la charge statique en fournissant un chemin de conductivité électrique modérée entre le corps humain ou l'élément de maîtrise des ESD et la terre. De nombreux produits de revêtement de sol utilisent un matériau conducteur, tel que le carbone, le métal ou d'autres additifs, qui s'étend de la surface du matériau jusqu'à un substrat sous-jacent tel qu'un adhésif conducteur. Le matériau de revêtement de sol est alors directement connecté à la terre.

Par ailleurs, les revêtements de sol et les agents antistatiques locaux utilisent deux mécanismes distincts. D'abord, ils réduisent la tendance de la surface à générer une charge statique. Ensuite, ils offrent un chemin de dissipation des charges. Si le revêtement de sol ou l'agent antistatique local est utilisé pour la mise à la terre primaire, ils doivent pouvoir limiter la charge en l'évacuant dans la terre.

4.7.3.3 Relation entre les revêtements de sol et les chaussures

La mise à la terre par le sol dépend du type de chaussures en contact avec le sol. Les chaussures de ville ou les chaussures industrielles typiques avec des semelles en caoutchouc, en crêpe ou en polyuréthane isolent celui qui les porte du sol. Les charges générées ne peuvent pas circuler facilement du corps, par la semelle isolée de la chaussure, jusqu'au matériau du revêtement de sol et à la terre.

Des études sur les matériaux de sol diminuant le risque d'ESD montrent que le temps de charge et de décharge mesuré sur le corps d'une personne varie avec le type de chaussures portées. Les niveaux des performances dépendent de la combinaison matériau de revêtement de sol et chaussures. Un choix approprié de chaussures est essentiel aux performances des matériaux de sol de protection contre les ESD.

4.7.3.4 Bénéfices des matériaux de sol

L'utilisation de matériaux de sol pour maîtriser l'électricité statique générée par des personnes ou des équipements présente un certain nombre d'avantages. Les matériaux de sol ont tendance à être passifs. Les employés qui travaillent dans les zones protégées avec des matériaux de sol doivent simplement porter et contrôler des chaussures appropriées. Ils n'ont pas besoin de mettre en œuvre des actions supplémentaires pour s'assurer que le matériau de revêtement de sol fonctionne correctement.

Les matériaux de sol, en particulier les revêtements et les enduits, peuvent être appliqués ou installés dans tout l'environnement de travail et fournissent une large zone de contrôle plutôt qu'un contrôle de chaque poste de travail. Ils améliorent la mobilité du personnel qui travaille dans l'environnement. Enfin, les matériaux de sol peuvent aider à maîtriser l'électricité statique sur les chariots ou tout autre équipement mobile s'ils sont correctement reliés à la terre.

4.7.3.5 Limites des matériaux de sol

Les matériaux de revêtement de sol ont également des limitations. Lorsqu'ils sont utilisés pour mettre à la terre des personnes, la personne doit rester en contact avec le revêtement de sol diminuant le risque d'ESD. Pour ceci, la personne doit se tenir debout. C'est la raison principale pour laquelle la CEI 61340-5-1 exige un bracelet antistatique pour les opérations assises.

L'utilisation de matériaux de sol peut être limitée par des considérations d'installation. Par exemple, des sols en béton peuvent contenir des quantités excessives d'humidité qui peuvent limiter l'installation des revêtements de sol élastiques. Les tapis diminuant le risque d'ESD ne sont pas pratiques dans le cas de processus où beaucoup d'eau est renversée.

Certains matériaux de sol de protection contre les ESD ne peuvent pas supporter le poids de véhicules lourds tels que les chariots élévateurs.

Certains matériaux peuvent être interdits pour certaines applications dans l'installation en raison de considérations de processus. Un exemple peut être un enduit de sol qui contamine l'environnement et ne peut pas être utilisé dans une salle blanche.

Des quantités excessives de poussières sur un matériau de sol peuvent avoir un effet négatif sur les performances du matériau de sol. Il est important de nettoyer régulièrement les matériaux de sol. Il est également important de s'assurer que les procédures et les produits de nettoyage adéquats sont utilisés pour s'assurer que les performances du sol ne sont pas compromises.

Il est important de considérer le processus entier pour choisir le revêtement de sol de protection contre les ESD.

4.7.3.6 Types de matériaux de sol

Les matériaux de revêtement de sol peuvent généralement être classés en matériaux permanents et semi-permanents ou non permanents. Certains des principaux avantages et inconvénients de chaque type de matériau sont étudiés ci-dessous.

4.7.3.6.1 Matériaux de revêtement de sol permanents

Les matériaux permanents sont largement définis comme des revêtements de sol, incluant les produits en plaque ou en couche de caoutchouc ou de vinyle, les enduits époxy, les stratifiés haute pression et les tapis. En groupe, ces matériaux ont une longue durée de vie et protègent une grande zone physique.

4.7.3.6.1.1 Produits en plaque ou en couche de caoutchouc et de vinyle

Les revêtements de sol élastiques sont les matériaux de sol permanents les plus utilisés. Ces matériaux sont généralement composés de caoutchouc et de vinyle ou des composites de vinyle. Les matériaux peuvent être en forme de plaque ou de couche. Les plages de résistances sont généralement comprises entre $2,5 \times 10^4 \Omega$ et $1,0 \times 10^9 \Omega$. Différents motifs, couleurs et tailles sont disponibles. Les revêtements de sol élastiques offrent un aspect attractif et une résistance à de nombreux produits chimiques couramment utilisés. La plupart des matériaux peuvent être soudés et installés dans les salles blanches. Ils peuvent être appliqués sur un faux-plancher.

Les matériaux de sol en vinyle peuvent nécessiter davantage d'entretien que d'autres revêtements de sol permanents; les revêtements de sol en caoutchouc nécessitent moins d'entretien que ceux en vinyle. Certains revêtements élastiques peuvent être glissants, en particulier lorsqu'ils sont humides. Ils peuvent être endommagés par un important trafic de véhicules. La présence de carbone dans certains de ces matériaux peut limiter leur utilisation dans des applications en salle blanche, bien que la résistance à l'abrasion de ces matériaux soit tout à fait bonne. En outre, les systèmes de revêtement de sol en vinyle peuvent dégager des gaz et ne pas être applicables dans certaines salles blanches.

4.7.3.6.1.2 Enduits époxy et polymères

Il s'agit généralement de matériaux de revêtement de sol permanent versés, de 3 mm ou plus d'épaisseur, mais ils peuvent être plus minces (voir 4.7.3.6.2.4). Ils ont une bonne résistance aux produits chimiques, aux abrasifs et à la soudure et résistent à un important trafic de véhicules. Ils sont plus faciles à entretenir que les autres matériaux. Ils peuvent être utilisés dans de nombreux environnements de salles blanches. Cependant, ils ne peuvent pas être utilisés sur un faux-plancher. Puisque les revêtements époxy sont virtuellement fabriqués sur site, les techniques d'installation appropriées par des installateurs expérimentés sont essentielles aux bonnes performances de ce type de matériau.

4.7.3.6.1.3 Stratifiés haute pression

Comme pour les matériaux des surfaces de travail, ces produits sont normalement limités aux faux-planchers et aux tapis de sol. Les stratifiés sont sensibles à l'humidité et il convient de ne pas les utiliser dans des zones où beaucoup d'eau et de produits chimiques sont renversés ou directement sur des sols secondaires en béton qui peuvent être soumis à un degré élevé d'humidité. Des variations de l'humidité peuvent modifier les caractéristiques de la résistance de ces matériaux. Les stratifiés haute pression manquent également de flexibilité physique pour être installés sur la plupart des sols secondaires standards.

4.7.3.6.1.4 Moquette

Les moquettes sont disponibles dans les plages de résistances de $2,5 \times 10^4 \Omega$ à $1,0 \times 10^9 \Omega$. Elles présentent des avantages esthétiques et acoustiques et améliorent le moral des employés. Les coûts d'entretien ont tendance à être inférieurs à ceux des matériaux de sol élastiques. Sous forme de carreaux de moquette, elles peuvent être utilisées sur les faux-planchers. Toutefois, la moquette n'est pas bien adaptée à une utilisation dans des zones soumises aux saletés, aux déversements d'eau et de produits chimiques, aux grandes quantités de soudure chaude, au trafic de véhicules lourds ni dans les salles blanches.

4.7.3.6.2 Matériaux semi-permanents ou non permanents

Le deuxième groupe de matériaux de sol est décrit en tant que semi-permanent ou non permanent et inclut les tapis, les enduits, les agents antistatiques locaux et les peintures. Leur espérance de vie est inférieure à celle des matériaux permanents et ils doivent être traités ou remplacés périodiquement. La caractéristique la plus remarquable de ces matériaux est leur flexibilité et leur facilité d'utilisation.

4.7.3.6.2.1 Tapis de sol

Les tapis de sol sont disponibles dans une grande variété de types et de styles allant des tapis dissipatifs mous aux tapis conducteurs durs. Leur portabilité et facilité d'utilisation permettent de les personnaliser et de les adapter à l'espace de travail, en particulier quand une maîtrise des ESD nécessite une protection dans des zones limitées. Le remplacement facile des tapis permet de les utiliser autour des machines de soudure à la vague ou de tout autre équipement où un déversement chimique important peut endommager de nombreux matériaux de sol. Cependant, les tapis tendent à se courber, créant ainsi des risques de chute pour les personnes et compliquent l'entretien du sol. Ils sont également onéreux s'ils doivent couvrir une grande surface. Leur application dans les salles blanches est limitée en raison de la contamination de l'environnement propre. Il faut surveiller que le tapis est connecté en permanence à la terre.

4.7.3.6.2.2 Enduits de sol

Les enduits de sol limitant l'électricité statique peuvent être appliqués sur une grande variété de sols ne diminuant pas le risque d'ESD : des sols en vinyle standard, en caoutchouc ou en composition de carreaux de vinyle, ou des sols existants, diminuant le risque d'électricité statique) pour réduire la génération de charges électrostatiques. En tant qu'enduits de sol, ils protègent et améliorent l'aspect du sol, et ils facilitent l'entretien. Les enduits de sol sont flexibles dans leur utilisation, ils peuvent être appliqués dans toute une installation, et peuvent garantir la protection de toute une zone. Ces matériaux ont également des inconvénients:

- Certains enduits de type agent de surface peuvent être trop glissants et être dangereux pour les employés.
- Certains enduits doivent être lavés à l'eau ordinaire. Certains enduits peuvent disparaître facilement avec l'usure et peuvent nécessiter un contrôle fréquent supplémentaire pour s'assurer de leur bon fonctionnement.
- Une mauvaise application et un mauvais entretien peuvent être à l'origine d'un fonctionnement non constant de l'enduit. Certains enduits de sol peuvent être incompatibles avec des exigences des salles blanches.

4.7.3.6.2.3 Agents antistatiques locaux

La fonction des agents antistatiques locaux est semblable à celle des enduits de sol, mais ces agents n'offrent pas de protection physique du matériau de sol même. Ils peuvent également être utilisés sur une moquette. Il est relativement facile d'appliquer les agents antistatiques locaux; cependant, ils manquent de permanence et de durée de vie.

4.7.3.6.2.4 Peintures et revêtements

Des peintures et des revêtements époxy sont appliqués par fines couches sur des sols en béton. Les avantages primaires de ces matériaux sont leur facilité d'application et leur couverture sur de grandes surfaces. Ils ont une durée de vie plus longue que les enduits, mais plus courte que les matériaux de sol permanents. Les peintures et revêtements ont tendance à s'user avec le temps et doivent être appliqués régulièrement. Certains matériaux ne sont pas applicables aux salles blanches parce qu'ils s'érodent ou s'écaillent ou sont fortement chargés en carbone.

4.7.3.7 Essais

La norme pour contrôler la résistance électrique des matériaux de sol est la CEI 61340-4-1. La méthode d'essai est conçue pour fonctionner dans la plage de $1,0 \times 10^3 \Omega$ à $1,0 \times 10^{10} \Omega$. La CEI 61340-5-1 exige que la tension maximale d'essai utilisée pour des systèmes de revêtement de sol utilisés dans un programme de maîtrise des ESD ne dépasse pas 100 V.

4.7.3.7.1 Evaluation

Dans le processus de choix, on évalue souvent des échantillons de matériaux de sol dans des conditions de laboratoire dans lesquelles les éléments tels que l'humidité, la température et la tension d'essai du dispositif de mesure de la résistance sont contrôlés. La résistance est mesurée pour des tensions d'essai de 10 V et de 100 V avec une humidité modérée et basse.

4.7.3.7.2 Réception ou installation initiale

Lorsqu'ils sont installés pour la première fois, il convient de contrôler les matériaux de sol pour s'assurer qu'ils fonctionnent et correspondent aux spécifications. Généralement, on mesure la résistance entre le point le plus haut du matériau de sol et la terre pour s'assurer que le matériau de sol a été correctement installé. Il convient de vérifier la connexion à la terre du matériau de sol avant de manipuler des dispositifs sensibles aux ESD.

4.7.3.7.3 Essais périodiques

Des essais périodiques des matériaux de sol sont nécessaires pour s'assurer qu'ils satisfont aux spécifications. Les mesures de la résistance à la terre sont généralement utilisées pour vérifier que le raccordement à la terre est intact. Dans les cas où la mesure de la résistance à la terre dépasse les limites de résistance établies, les étapes suivantes peuvent permettre d'identifier la cause des mesures de résistance élevées:

- Vérifier visuellement que le matériau de sol est connecté à la terre de référence.
- Nettoyer la surface du matériau de sol. Une surface sale peut parfois être à l'origine d'une résistance anormalement élevée. Répéter la mesure de la résistance à la terre une fois la surface nettoyée (l'électrode de mesure de résistance doit également être nettoyée). Si la deuxième mesure est conforme aux spécifications, il peut être nécessaire de remettre en question les pratiques de nettoyage utilisées par l'organisation.

La fréquence des essais périodiques est normalement spécifiée dans les procédures de fonctionnement de l'entreprise. Cependant, il est conseillé d'effectuer ces mesures au moins une fois par trimestre.

4.7.3.8 Maintenance

Un nettoyage périodique, selon les recommandations du fabricant, est nécessaire pour maintenir un bon fonctionnement électrique de tous les matériaux de sol. Les produits de nettoyage utilisés ne doivent pas laisser de résidus isolants électriques, ce qui est généralement le cas avec de nombreuses encaustiques vendues dans le commerce.

4.7.4 Chaussures

4.7.4.1 Remarques introductives

Comme cela est indiqué en 4.7.3, la cause principale de l'électricité statique est souvent liée au mouvement des personnes et des matériaux dans l'environnement de travail. Le mouvement des personnes, en particulier le contact et la séparation des chaussures avec le sol, génère des charges qui peuvent être une tension du corps humain de l'ordre de plusieurs milliers de volts.

Ce paragraphe présente le rôle des chaussures (chaussures, dispositifs de raccordement des pieds à la terre et autres dispositifs) pour permettre de maîtriser l'accumulation des charges sur les personnes. Le présent paragraphe est destiné à donner une définition des chaussures antistatiques et leur application correcte, associées à d'autres mécanismes de maîtrise des ESD. Ce paragraphe inclut des suggestions sur le contrôle et l'évaluation des chaussures destinées à être utilisées dans un environnement de protection contre les décharges électrostatiques (ESD). Les considérations du présent paragraphe sont limitées aux facteurs concernant la maîtrise des ESD.

Le bracelet antistatique est le principal dispositif de mise à la terre des personnes. De nombreuses opérations de fabrication sont impossibles et des processus de production sont ralentis par l'utilisation des bracelets antistatiques. Les personnes très mobiles sont quasiment impossibles à raccorder à la terre par un bracelet antistatique. Dans ces cas, une autre méthode de mise à la terre peut être nécessaire en association avec les bracelets antistatiques.

Une telle méthode consiste à relier le pied et la chaussure à des revêtements de sol ou des tapis diminuant le risque d'ESD. Il existe une grande variété de dispositifs de mise à la terre des chaussures. Le choix du dispositif approprié est fonction des exigences en matière de maîtrise des ESD, des exigences de sécurité de la société et du coût. Comme pour les chaussures, il existe un grand nombre de traitements des sols et de revêtements de sol diminuant le risque d'ESD. Il est important de considérer le sol, les chaussures et la personne comme trois composants distincts fonctionnant comme un système complet.

NOTE Pour que la tension du corps humain reste inférieure à 100 V, il convient que la résistance à la terre du système total soit inférieure à $3,5 \times 10^7 \Omega$.

4.7.4.2 Types de chaussures

Le type de chaussures utilisées peut être influencé par ce qui suit: les installations, le sexe, le profil culturel et physique du personnel et des visiteurs, le type d'emploi et le budget. Il est tout à fait possible que plusieurs types de chaussures soient intégrés dans un programme de maîtrise des ESD.

4.7.4.2.1 Dispositifs de mise à la terre pour talons et orteils

Des dispositifs de mise à la terre pour talons et orteils sont utilisés pour les employés et les visiteurs dans une zone contrôlée contre les ESD. Il convient de porter les dispositifs de mise à la terre pour talons et orteils sur chaque pied. S'ils ne sont pas bien portés, les dispositifs de mise à la terre pour talons et orteils ne sont pas efficaces. Les dispositifs de mise à la terre pour talons peuvent facilement perdre le contact avec le sol et peuvent donc nécessiter davantage de surveillance que d'autres types de chaussures. Il est important que le ruban conducteur ait un bon contact électrique avec le corps de la personne par un contact direct avec sa peau ou par une connexion avec ses chaussettes.

4.7.4.2.2 Couvertures pour chaussures et bottes

Les couvertures pour chaussures et bottes sont souvent utilisées dans les environnements sensibles à la contamination et aux particules. Puisque le corps est généralement raccorder par une bande conductrice semblable à celle du dispositif de mise à la terre pour talons et orteils, les couvertures pour chaussures et bottes peuvent également être mal portées. Si la botte est trop grande, elle peut glisser ou bouger autour de la chaussure, ce qui entraîne une perte de continuité avec la terre.

4.7.4.2.3 Chaussures

Si des chaussures antistatiques sont choisies, il convient de s'assurer qu'elles sont bien adaptées. La construction des chaussures est importante. Il convient d'utiliser des chaussures conçues spécifiquement pour la maîtrise des ESD. Puisque la plupart des chaussures antistatiques ressemblent à des chaussures ordinaires, une étiquette ou un marquage bien visible doit être placé(e) sur la chaussure pour faciliter les processus de surveillance et d'audit.

4.7.4.3 Utilisation correcte

Les chaussures antistatiques sont conçues pour réduire les niveaux de charges du corps en fournissant un chemin conducteur du corps jusqu'au matériau de sol.

Il convient de porter les dispositifs de mise à la terre pour talons et orteils sur chaque pied, afin d'assurer une utilisation efficace. Il convient d'observer les précautions nécessaires pour évaluer non seulement les chaussures, mais également la combinaison

chaussures/revêtement de sol (se référer à la CEI 61340-4-5). Lorsqu'une limite supérieure de tension du corps acceptable a été déterminée, en général 100 V, il convient de procéder à des essais pour s'assurer que la combinaison chaussures et matériau de sol est conforme aux paramètres choisis dans les conditions d'environnement les plus défavorables.

Il convient d'évaluer la capacité des chaussures à évacuer une charge d'une personne qui se déplace d'une zone non protégée à une zone protégée, ou se déplace sur un sol diminuant le risque d'ESD. Lorsqu'une personne entre en contact avec un matériau de sol diminuant le risque d'ESD avec des chaussures antistatiques, il est recommandé que la charge du corps se dissipe en quelques secondes.

4.7.4.4 Essais

Il convient que l'essai des chaussures inclut un essai de qualification initial des produits, de préférence un essai en laboratoire dans des conditions contrôlées (se référer à la CEI 61340-4-3). Si des produits correspondent aux normes existantes, il convient de procéder à un essai du système des chaussures associées avec des matériaux de sol existants ou proposés sur le site, pour s'assurer que les critères pour l'installation sont satisfaits. Il convient de procéder à une inspection sur des échantillons pour toutes les chaussures antistatiques.

La CEI 61340-4-3 est utilisée pour évaluer les chaussures antistatiques. La méthode d'essai décrit des procédures pour des évaluations initiales en laboratoire ainsi que pour les essais de réception.

La CEI 61340-4-5 a été développée pour mesurer la résistance du système de la combinaison personne, chaussures et revêtement de sol ainsi que pour contrôler l'aptitude à la charge d'une personne portant des chaussures antistatiques qui marche sur un revêtement de sol diminuant le risque d'ESD.

4.7.4.4.1 Problèmes d'essais communs

Souvent, les testeurs utilisés pour la surveillance en usine indiquent seulement que la résistance du système est entre deux points de consigne. De nombreux testeurs, par exemple des testeurs de bracelet antistatique, n'ont pas de points de consigne correspondant aux plages réelles des résistances des chaussures antistatiques. Il est donc recommandé d'utiliser un testeur conçu spécifiquement pour les chaussures.

Occasionnellement, les chaussures peuvent indiquer une résistance élevée. Outre le matériau des chaussures, qui contribue à la résistance élevée, la peau de la personne (si elle est sèche), des chaussettes isolantes épaisses, l'absence de couche de sueur due aux différences de températures entre les surfaces intérieures des chaussures et les pieds de la personne ou des contaminants tels que l'accumulation de cire provenant du revêtement de sol des bureaux, peuvent faire augmenter la résistance au-delà des niveaux acceptables.

4.7.5 Sièges de protection contre les ESD

4.7.5.1 Remarques introductives

Comme cela est indiqué en 4.5, la cause principale de l'électricité statique sur le lieu de travail est souvent liée au mouvement des personnes et des matériaux. Ce mouvement, en particulier le mouvement d'une personne assise dans un siège ou le mouvement du siège même sur le sol, peut générer des tensions importantes. Ce paragraphe couvre l'utilisation de sièges dans une zone protégée contre les ESD pour la dissipation des charges. Bien qu'elle ne soit pas recommandée dans la CEI 61340-5-1 en tant que moyen de mise à la terre du personnel sur le lieu de travail, l'utilisation de sièges qui respectent des exigences sur les résistances entre la surface de contact du siège et les roulettes ou les pieds du siège, peut constituer un moyen efficace pour mettre à la terre le personnel s'il est possible de trouver une méthode fiable pour lier la personne au siège. En outre, si le siège est utilisé pour raccorder la personne à la terre (comme la terre primaire), la résistance maximale à la terre de la personne par le système siège et revêtement de sol doit être inférieure à $3,5 \times 10^7 \Omega$ ou inférieure à $1,0 \times 10^{10} \Omega$ et inférieure à 100 V de génération de charge. Un contact continu doit être assuré entre tous les éléments dans le système, y compris la personne, le siège et la

surface du revêtement de sol diminuant le risque d'ESD. La situation décrite ci-dessus qui utilise des sièges diminuant le risque d'ESD pour mettre à la terre le personnel peut être utilisée comme un exemple possible de personnalisation.

4.7.5.1.1 Relation entre les sièges, le revêtement de sol et l'utilisateur

Les sièges diminuant le risque d'ESD dissipent la charge de l'utilisateur en fournissant un chemin conducteur de la partie du corps qui entre en contact avec le siège jusqu'au matériau de sol sur lequel repose le siège. Comme dans le cas de la combinaison chaussures et revêtement de sol, l'efficacité du siège peut reposer sur une couche de sueur entre l'utilisateur et le coussin du siège. Puisque le siège est fait de différentes parties mécaniques, de différents matériaux constitutifs et de plusieurs points de connexion entre ces matériaux et parties mécaniques, il n'est pas aussi fiable qu'un bracelet antistatique ou une combinaison chaussures et revêtement de sol pour mettre le personnel à la terre. Toutefois, si leur résistance correspond aux spécifications, ces interfaces peuvent être contrôlées pour garantir la mise à la terre. Comme avec les chaussures, les sièges ne sont efficaces que s'ils sont utilisés associés à un revêtement de sol de protection contre les ESD.

4.7.5.1.2 Avantages

Les sièges de protection contre les ESD présentent certains avantages. Les sièges standards, en particulier ceux équipés de roulettes en plastique, peuvent induire des niveaux de tension importants sur un utilisateur qui ne porte pas de bracelet antistatique dans des zones sans revêtement de sol de protection et sans chaussures de protection. Les sièges dont les roulettes, la structure et les coussins sont correctement liés les uns aux autres et qui possèdent des propriétés de résistance appropriées réduisent ces tensions à des niveaux sûrs.

4.7.5.2 Types et sélection

Il existe différents styles de sièges: des fauteuils de bureau, des banquettes, des tabourets et des assis-debout. Il convient que les surfaces d'un siège diminuant le risque d'ESD qui entrent en contact avec le corps dissipent les charges de toutes les surfaces du siège par les composants entre le siège et la terre. Les sièges rembourrés utilisent des fibres conductrices tissées dans le tissu pour dissiper les charges. Le tissu est alors connecté au sol par les composants du siège, par le cylindre, le châssis et les roulettes (ou chaînes traînées au sol).

Dans certains environnements, par exemple les salles blanches, le tissu du rembourrage doit être remplacé par du vinyle. Le rembourrage en vinyle de protection contre les ESD est fabriqué avec une couche conductrice mince sous la surface du vinyle. La résistance des sièges rembourrés en vinyle peut être légèrement plus élevée que celle des sièges en tissu; toutefois, ils doivent satisfaire aux exigences de résistance décrites dans la CEI 61340-5-1.

4.7.5.3 Essais

Une procédure qui peut être utilisée pour contrôler la résistance électrique des sièges est décrite dans la CEI 61340-2-3. La méthode d'essai générale des mesures de résistance à la terre ou à un point connectable à la terre doit être utilisée. Il convient d'évaluer les surfaces des sièges au point connectable à la terre du siège (roulettes ou chaînes traînées au sol).

Lorsque les sièges sont utilisés dans un programme de maîtrise des ESD, la plage de résistances électriques requise pour les sièges est inférieure à $1,0 \times 10^{10} \Omega$ selon les exigences établies dans la CEI 61340-5-1. Cette valeur s'applique aux évaluations en laboratoire, aux essais de réception et aux essais périodiques.

4.7.6 Ionisation

4.7.6.1 Remarques introductives

La principale méthode de maîtrise des ESD est le raccordement direct à la terre des conducteurs, des matériaux dissipatifs d'électricité statique et du personnel. Cependant, un programme complet de maîtrise des ESD doit également traiter les conducteurs isolés qui ne peuvent pas être mis à la terre ainsi que les matériaux isolants (par exemple, la plupart des plastiques). Dans certains cas, il est possible d'utiliser de l'humidité ou des pulvérisateurs de produits chimiques pour dissiper les charges statiques de ces éléments. Cependant, l'humidité dissipe lentement les charges statiques et les pulvérisateurs de produits chimiques ne peuvent pas être appliqués dans les environnements tels que les salles blanches.

L'ionisation de l'air peut neutraliser les charges statiques au niveau des objets isolants ou isolés en chargeant les molécules de gaz de l'air ambiant. Quand il existe une charge statique au niveau de certains objets de l'environnement de travail, celle-ci sera neutralisée par attraction de charges de polarité opposée dans l'air. Etant donné que ce système utilise exclusivement l'air déjà présent dans l'environnement de travail, il est permis d'utiliser l'ionisation de l'air même dans les salles blanches où les pulvérisations chimiques et certains matériaux dissipatifs d'électricité statique ne sont pas utilisables.

L'ionisation de l'air ne remplace pas la mise à la terre. Il s'agit d'un composant d'un programme complet de maîtrise des ESD. Les ioniseurs sont utilisés quand il n'est pas possible de tout raccorder correctement à la terre et constituent un moyen de secours pour les autres méthodes de maîtrise des ESD. Dans les salles blanches, l'ionisation de l'air peut être l'une des quelques méthodes de maîtrise des ESD disponibles.

La norme ANSI/ESD STM 3.1 définit des méthodes et des procédures d'essai pour évaluer les performances des matériels d'ionisation de l'air. Cette norme comporte deux annexes qui évoquent brièvement les processus d'ionisation de l'air et de neutralisation des charges, la conception du dispositif de surveillance à plaque de charge (l'instrument de mesure recommandé) et d'autres informations sur l'utilisation et les essais des ioniseurs.

Le présent paragraphe vise à compléter les informations présentées dans la méthode d'essai normalisée de la norme ANSI/ESD STM 3.1. Elle présente la façon dont les ioniseurs fonctionnent, comment leurs performances électriques sont mesurées, les principaux types d'ioniseurs et leurs environnements d'utilisation, les éléments importants des spécifications des performances, les méthodes d'essai et des informations relatives à la sécurité, l'entretien et la contamination.

4.7.6.1.1 Maîtrise de la contamination

Une autre application de l'ionisation de l'air est d'améliorer la maîtrise de la contamination.

L'ionisation équilibrée de l'air peut améliorer la capacité du système de filtration de l'air à retirer les particules de l'environnement d'une salle blanche. L'ionisation neutralise les charges sur les surfaces critiques et réduit l'attraction des particules sur ces surfaces. Les particules ont davantage tendance à rester dans un flux d'air laminaire, puis à être retirées par le système de filtration de l'air.

4.7.6.2 Qu'est-ce que l'ionisation de l'air?

Les ions dans l'air sont des groupes de molécules (environ 10 molécules et souvent des molécules d'eau) autour d'une molécule chargée d'oxygène ou d'azote. L'ion peut avoir une charge positive (déficit d'électrons) ou une charge négative (excès d'électrons). La concentration naturelle des ions dans l'air est faible, en général moins de 1 000 par cm³. Ces ions « naturels » se forment généralement pendant la décharge des éléments radioactifs naturels dans l'air, dans la terre ou dans les matériaux des bâtiments.

Pour les neutraliser, des concentrations d'ions supérieures sont nécessaires. Des sources radioactives, généralement le Polonium 210, peuvent être utilisées dans certaines conditions

pour produire des ions dans l'air. Les particules alpha émises par les ioniseurs nucléaires sont des noyaux d'hélium chargés positivement (deux protons, deux neutrons et pas d'électrons). Lors d'une collision entre ces particules alpha et des molécules dans l'air, elles déplacent des électrons de certaines molécules de l'air (créant les ions positifs de l'air). Ces électrons « libres » sont ensuite capturés par d'autres molécules de l'air (créant les ions négatifs de l'air).

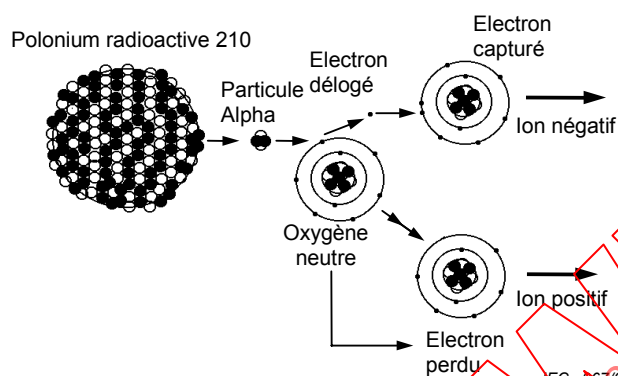
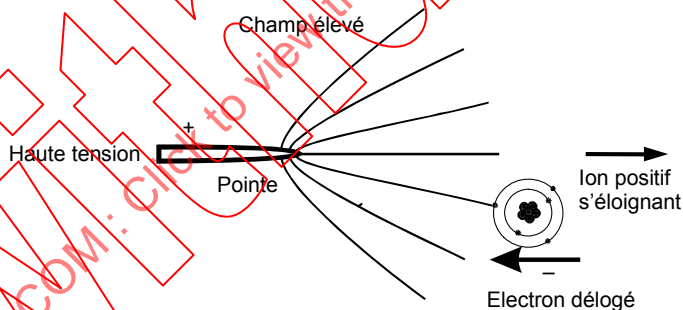


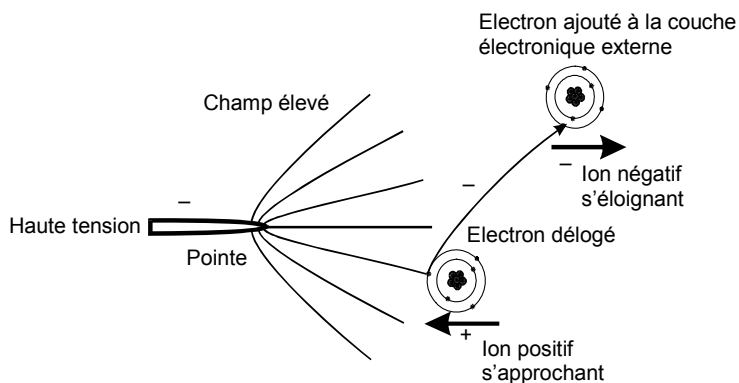
Figure 9 – Ionisation par rayonnement alpha

Dans d'autres situations, la méthode de production d'ions la plus commune est par interaction entre des molécules neutres de l'air et des électrons accélérés par un champ électrique avec des forces de champ supérieures à 3 MV/m (à la pression atmosphérique). On appelle généralement ceci une décharge par effet Corona ou une ionisation par effet Corona haute tension.



IEC 968/07

Figure 10 – Ionisation par effet Corona – Positive



IEC 969/07

Figure 11 – Ionisation par effet Corona – Négative

4.7.6.3 Mesure de l'ionisation de l'air

Si un ion est exposé à un champ électrique, il se déplacera à une vitesse fonction de l'amplitude du champ électrique, et dans une direction fonction de la direction du champ électrique et de la polarité de l'ion (les deux pouvant être positive ou négative). Le mouvement des ions dans un champ électrique est un courant électrique dont la densité de courant dépendra du nombre d'ions dans l'air et de la vitesse à laquelle les ions s'éloignent ou se rapprochent de la source de champ électrique.

Si un objet est chargé, un champ électrique apparaît autour de l'objet. La force du champ variera d'un point à l'autre, mais il restera proportionnel à la charge. Si l'objet est entouré d'air ionisé des deux polarités, un courant circulera vers l'objet porté par les ions de la polarité opposée à sa charge. Ce "courant de neutralisation" est proportionnel à la charge sur l'objet et à la quantité d'ions disponibles dans l'air environnant (densité d'ions).

Si la densité d'ions ne varie pas, le taux relatif de neutralisation de charge est constant et la charge diminuera exponentiellement avec une constante de temps qui dépend de la densité d'ions. Dans la pratique, il est difficile de maintenir cette condition. Les concentrations de particules dans l'air, l'épuisement des ions à proximité de l'objet chargé, la non-homogénéité de l'air ionisé et les champs non uniformes dus aux objets voisins causeront tous des variations du taux de diminution des charges. Il est impossible de corriger tous les écarts à partir du cas le plus simple pour calculer la constante de temps. Il est plus raisonnable de mesurer les propriétés de neutralisation d'un ioniseur de manière expérimentale en utilisant un dispositif de surveillance à plaque de charge.

4.7.6.3.1 Dispositif de surveillance à plaque de charge (CPM, *Charged plate monitor*)

Le dispositif de surveillance à plaque de charge est utilisé pour mesurer les propriétés de neutralisation d'un ioniseur ou d'un dispositif d'ionisation. Le dispositif de surveillance à plaque de charge se compose d'une plaque conductrice isolée, qui peut être chargée à une tension initiale fixe par un dispositif externe approprié. La tension de la plaque est surveillée soit en la couplant à un électromètre, soit en mesurant le champ de la plaque en utilisant un mesureur de champ sans contact.

Si le dispositif de surveillance à plaque de charge est placé dans un environnement ionisé, le taux de neutralisation de charge par l'ioniseur peut être caractérisé par le temps de décharge. Ceci a été défini comme le temps nécessaire à la tension de la plaque pour passer de sa valeur initiale à 10 % de sa valeur initiale (par exemple 1 000 V à 100 V). L'équilibre de l'ioniseur peut être déterminé en mettant à la terre momentanément la plaque d'isolement, et en notant alors n'importe quelle tension induite sur la plaque par l'opération d'ioniseur. Cette tension est connue sous le nom de tension d'équilibre. Des informations détaillées sur le dispositif de surveillance à plaque de charge et la technique de mesure sont présentées dans l'ANSI/ESD STM 3.1.

4.7.6.4 But de l'ionisation

Le choix d'un ioniseur pour résoudre un problème d'électricité statique fait souvent intervenir un certain nombre de considérations sans compter la capacité de l'ioniseur à neutraliser une charge statique. En général, l'ionisation doit être conçue pour une certaine application, puis elle est évaluée dans la zone réelle d'utilisation.

Il convient de se rappeler que l'ionisation de l'air est installée parce qu'il y a un problème d'électricité statique. Dans la plupart des cas, l'ionisation de l'air est installée pour neutraliser des charges statiques sur des matériaux isolants essentiels aux processus et sur des conducteurs isolés. Souvent, ces matériaux isolants et conducteurs isolés font partie du produit fabriqué. L'ionisation, seule ou associée à des méthodes passives de maîtrise des ESD, doit démontrer qu'elle peut réduire ou éliminer le problème d'électricité statique. Il existe beaucoup de technologies différentes et de types d'équipements pour fabriquer des

ions d'air. Il n'y a pas d'ioniseur idéal pour toutes les applications. Toutefois, en analysant soigneusement les exigences de sa propre application, il peut être possible de déterminer le meilleur ioniseur pour cette application spécifique.

4.7.6.5 Types, utilisation, sélection et installation des ioniseurs d'air

4.7.6.5.1 Types d'ioniseurs d'air

Les deux principales méthodes pour produire l'ionisation de l'air sont la décharge nucléaire par l'émission alpha et la décharge par effet corona provoquée par des champs électriques élevés. Les ioniseurs à décharge par effet corona sont de plusieurs types, les plus communs étant les ioniseurs à courant alternatif, les ioniseurs à courant continu permanent et les ioniseurs à courant continu pulsé. Il existe également des ioniseurs à rayons X qui utilisent des sources de rayons X pour produire l'ionisation de l'air.

NOTE Les ions de l'air dus à la décharge par effet corona sont créés lorsqu'une tension élevée (alternative, continue) est appliquée à un point ou un émetteur.

4.7.6.5.1.1 Ioniseurs nucléaires

Les ioniseurs nucléaires utilisent généralement le polonium 210 comme élément radioactif pour produire l'ionisation d'air. La matière nucléaire est enrobée de façon à empêcher son dégagement de l'ioniseur, tout en permettant l'émission de particules alpha pour ioniser l'air ambiant. Les particules alpha et des molécules de gaz dans l'air entrent en collision et déplacent des électrons. Lorsque les électrons se déplacent, des ions positifs sont créés. Quand les électrons déplacés sont capturés par les molécules neutres de gaz, des ions négatifs sont créés. Les ioniseurs nucléaires ne génèrent aucun champ électrique. Ils doivent être utilisés à proximité de la surface chargée, ou assurer par une circulation d'air la dispersion des ions de l'air à l'intérieur de la zone de travail.

4.7.6.5.1.2 Ioniseurs à courant alternatif

Les systèmes à courant alternatif utilisent des émetteurs commutés rapidement entre des hautes tensions positives et négatives, généralement à la fréquence du secteur. La recombinaison ionique est élevée car les deux polarités sont générées en succession rapide à chaque pointe d'émission. Le champ électrostatique généré par les pointes d'émission change également de direction rapidement. Dans certaines situations, il est possible qu'il ne soit pas souhaitable de placer des composants sensibles à proximité des pointes d'émission. Pour ces applications, une circulation d'air sera nécessaire pour éloigner les ions des pointes d'émission. Des systèmes à courant alternatif sont souvent installés à la sortie d'un système de distribution d'air.

4.7.6.5.1.3 Ioniseurs à courant continu permanent

Les systèmes à courant continu (c.c.) constant comprennent des émetteurs d'ions négatifs et positifs séparés connectés par un couple de câbles à haute tension à leurs alimentations haute tension respectives. L'espacement entre les émetteurs varie en fonction de la conception et un courant continu est constamment appliqué au niveau des pointes d'émission.

L'espacement entre les émetteurs à polarités opposées est encore plus important dans le système à c.c. que dans le système à c.a. La recombinaison ionique se produit à une vitesse plus faible et les systèmes à c.c. constant fonctionnent avec une circulation d'air plus faible que les systèmes à c.a. Dans certaines situations, il est possible qu'il ne soit pas souhaitable de placer des composants sensibles à proximité des pointes d'émission. Le champ électrique de l'ioniseur est utilisé pour déplacer les ions en l'absence de circulation d'air importante. Des précautions doivent être prises afin que les émetteurs ne soient pas trop éloignés les uns des autres, ce qui entraînerait la création de points chauds ioniques. Les points chauds ioniques contiennent un surplus d'ions de l'une des deux polarités et tout objet introduit dans ces zones est susceptible d'être chargé par ce déséquilibre ionique.

4.7.6.5.1.4 Ioniseurs à courant continu pulsé

Les systèmes à courant continu pulsé génèrent des ions de deux polarités au niveau d'une seule unité d'émission utilisant une seule pointe d'émission ou une paire de pointes très proches. La répartition de la puissance est susceptible de s'effectuer par l'intermédiaire d'un câble à haute tension à partir d'une alimentation centrale à haute tension, ou par un câble basse tension à partir d'un contrôleur central pour les alimentations à haute tension éloignées. Si l'on pratique une alternance relativement lente entre les polarités (généralement à une fréquence de récurrence de 10 Hz ou moins), la vitesse de recombinaison diminue ; mais une tension d'équilibre cyclique apparaît. La génération des deux polarités au même endroit supprime les points chauds ioniques et les champs électrostatiques continuent de déplacer les ions dans les applications à faible circulation d'air. Dans certaines situations, il est possible qu'il ne soit pas souhaitable de placer des composants sensibles à proximité des pointes d'émission. En variant la fréquence de récurrence, il est possible de fournir des ions dans la zone de travail, même lorsque la circulation d'air est nulle.

4.7.6.5.1.5 Ioniseurs à rayons X

Il est possible d'utiliser des sources douces de rayons X (énergies de moins de 10 KeV) pour fournir l'énergie nécessaire pour déplacer des électrons des molécules de gaz dans l'air. Lorsque les électrons se déplacent, des ions positifs sont créés. Quand les électrons déplacés sont capturés par les molécules neutres de gaz, des ions négatifs sont créés. Les ioniseurs à rayons X produisent des ions le long du chemin des rayons X, qui peut mesurer jusqu'à 1 m ou plus dans l'air. Les sources de rayons X doivent être protégées pour empêcher d'irradier le personnel. Il n'y a pas de champ électrique, mais des ions sont produits dans un volume d'air, sans qu'un flux d'air ne soit nécessaire.

4.7.6.5.2 Environnements d'utilisation des ioniseurs d'air

Il existe différents types d'ioniseurs : nucléaires, à effet corona et à rayons X. Le choix d'un ioniseur dépend souvent de la taille ou du type de zone dans lequel il sera utilisé. Il existe des produits pour fournir de l'air ionisé pour des salles entières, des hottes à flux d'air laminaire, des surfaces de travail, des points spécifiques d'utilisation, des lignes de gaz comprimé et une variété d'applications personnalisées sortant du domaine d'application de la présente norme.

4.7.6.5.2.1 Ionisation de salles

Les dispositifs d'ionisation de salles sont utilisés lorsque des problèmes d'électricité statique surviennent dans une vaste zone de production et qu'il est difficile de localiser le problème sur une station de travail spécifique. Parmi les dispositifs d'ionisation de salles, on distingue des systèmes à grille en courant alternatif, des couples espacés d'émetteurs à c.c. constant, des systèmes à barre à c.c. constant ou pulsé et des émetteurs à c.c. pulsé individuellement. Les ioniseurs nucléaires ne sont pas couramment utilisés dans les systèmes d'ionisation de salles en raison de la quantité de matière radioactive nécessaire.

Indépendamment du type d'ioniseur de salles choisi, il faut résoudre un certain nombre de problèmes d'environnement et de matériel lorsque l'ionisation concerne des zones étendues. Il faut prendre en considération la hauteur de plafond et la circulation d'air dans la zone. Tout objet volumineux situé dans la zone modifiera à la fois la circulation d'air et le fonctionnement des ioniseurs. Il est nécessaire de considérer les méthodes de répartition de puissance au niveau des ioniseurs ainsi que d'autres exigences relatives à l'installation. Après l'installation, ces importants systèmes nécessiteront une maintenance périodique afin de garantir les performances souhaitées. Contrairement aux autres applications d'ioniseurs, l'ionisation de salles implique souvent un système fabriqué plutôt qu'un produit du commerce.

4.7.6.5.2.2 Ionisation de hottes à flux laminaire

Les hottes à flux laminaire sont couramment utilisées dans l'industrie de l'électronique et dans de nombreuses autres applications. Elles sont utilisées pour créer une station de travail à contamination maîtrisée au sein d'une plus grande zone de production incontrôlée. A

l'intérieur de la zone de ces hottes à flux laminaire, une charge statique peut provoquer à la fois des problèmes d'ESD et de contamination particulaire. Des grilles à courant alternatif, des barres à c.c. constant et à c.c. pulsé ainsi que des barres nucléaires sont utilisées pour créer une ionisation au niveau des hottes à flux laminaire. Le niveau et la direction de la circulation d'air disponible dans ces bancs d'essai sont susceptibles d'influencer le choix du type d'ioniseur. Tout objet volumineux dans la zone du banc d'essai influencera à la fois la circulation d'air et le fonctionnement de l'ioniseur. Il est éventuellement nécessaire de considérer la répartition des alimentations s'il faut utiliser un grand nombre d'ioniseurs électriques. Comme pour tous les ioniseurs, une maintenance périodique sera nécessaire pour fournir des capacités d'ionisation optimales.

4.7.6.5.2.3 Ionisation de la surface de travail

Le type d'ioniseur utilisé pour assurer une maîtrise de l'électricité statique sur une surface de travail quelconque dépend dans une large mesure de la zone dans laquelle se situe la surface de travail et de la circulation d'air disponible. Dans les zones à contamination maîtrisée, ou dans d'autres zones présentant des circulations d'air importantes, les produits décrits pour l'ionisation de salles ou l'ionisation de hottes à flux laminaire sont susceptibles d'être utilisables. Dans les zones où la circulation d'air ambiant est réduite, il est possible d'utiliser d'autres types d'ioniseurs. On les désigne couramment par le terme d'ioniseurs de table soufflants ou d'ioniseurs de poste de travail aériens et leur conception inclut des ventilateurs. Les types d'ionisation nucléaire ou l'un des types d'ionisation par effet corona décrits précédemment peuvent être utilisés.

4.7.6.5.2.4 Ionisation d'un point d'utilisation

Il est quelquefois nécessaire d'assurer une maîtrise de l'électricité statique dans une zone ou un point défini et réduit. Il s'agit souvent d'assurer une maîtrise de l'électricité statique au sein d'un équipement de production, de mini-environnements ou de faciliter l'élimination de particules depuis une partie d'un produit. Les ioniseurs utilisés à cette fin peuvent être des pistolets ou des buses à jet d'air ou d'azote comprimé. Les types d'ionisation nucléaire, à rayons X ou l'un des types d'ionisation par effet corona décrits précédemment peuvent être utilisés. Il est important d'opter pour une méthode d'ionisation et de propreté du gaz adaptée à la zone de travail.

4.7.6.5.3 Sélection de matériels d'ionisation de l'air

4.7.6.5.3.1 Etablissement de la spécification de performances

La sélection d'un ioniseur d'air pour une application spécifique implique souvent un choix entre un certain nombre de variables différentes. Les décharges électrostatiques occasionnent une grande variété de problèmes et une grande variété de produits sont concernés par ces problèmes. Lorsqu'une spécification est établie, elle doit prendre en compte la nature du problème d'électricité statique, la sensibilité du produit à la charge statique, l'environnement dans lequel l'ioniseur sera utilisé et les caractéristiques de fonctionnement du matériel d'ionisation. Certains des problèmes à prendre en compte sont présentés dans le Tableau 2.