

TECHNICAL SPECIFICATION

SPECIFICATION TECHNIQUE



Estimation of the reliability of electrical connectors

Estimation de la fiabilité des connecteurs électriques



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2017 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

65 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: csc@iec.ch.

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

Recherche de publications IEC - www.iec.ch/searchpub

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

65 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: csc@iec.ch.

TECHNICAL SPECIFICATION

SPECIFICATION TECHNIQUE



Estimation of the reliability of electrical connectors

Estimation de la fiabilité des connecteurs électriques

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 31.220.10

ISBN 978-2-8322-3816-5

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

CONTENTS

FOREWORD.....	3
INTRODUCTION.....	5
1 Scope.....	7
2 Normative references.....	7
3 Terms and definitions.....	7
4 General considerations	7
4.1 General.....	7
4.2 Intrinsic degradation mechanisms.....	7
4.3 Extrinsic degradation mechanisms	7
4.4 Control of extrinsic degradation	8
4.5 Failure effects, failure modes and failure (degradation) mechanisms	8
4.5.1 General.....	8
4.5.2 Failure modes	8
4.5.3 Degradation mechanisms	8
5 Test methods and acceleration factors	9
6 Basic contact and connector reliability testing protocol	10
7 Reliability statistics	14
7.1 Basic statistical approach to estimating reliability for variables data	14
7.2 Contact vs. connector reliability	15
7.3 Estimating contact / connector reliability estimates in terms of MTTF/MTBF	16
8 Acceptance criteria	16
9 Summary and conclusions	17
Annex A (informative) Determining the stress relaxation acceleration factor for dry heat test conditions.....	18
Annex B (informative) Using extreme value distributions to estimate reliability for multiple position connectors	20
Bibliography	25
Figure B.1 – Contact arrangement in a square 16 pole connector.....	20
Figure B.2 – Largest ΔR values: reference of maximum allowed change – 20 m Ω	21
Figure B.3 – Largest ΔR values with confidence interval for reliability estimates – Largest extreme value probability with 90 % confidence interval – Sample size = 10	22
Figure B.4 – Largest ΔR values with confidence interval for reliability estimates – Largest extreme value probability with 90 % confidence interval – Sample size = 5	23
Figure B.5 – Largest ΔR values with confidence interval for reliability estimates – Largest extreme value probability with 90 % confidence interval – Sample size = 20	24

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ESTIMATION OF THE RELIABILITY OF ELECTRICAL CONNECTORS**FOREWORD**

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

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

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

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

IEC TS 61586, which is a technical specification, has been prepared by IEC technical committee 48: Electrical connectors and mechanical structures for electrical and electronic equipment.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1997. This edition constitutes a technical revision.

The main technical changes with regard to the previous edition are as follows:

- A specific “basic” testing protocol is defined which utilizes a single test group subjecting connectors to multiple stresses.
- Additional information is provided concerning test acceleration factors.
- A discussion of the limitations of providing MTTF/MTBF estimates for connectors has been added.
- The bibliography has been expanded.

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

Enquiry draft	Report on voting
48/563/DTS	48/568/RVC

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

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

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

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

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

INTRODUCTION

The reliability of electronic assemblies depends on the reliability of the passive electrical connections between the active components, as well as on the reliability of the components themselves. There is a common perception that interconnections, specifically connectors, are a major source of failures, often of the "no fault found" variety, in electronic assemblies. Whether this perception is true is not the subject of this technical document, but connector reliability is a concern. Much of the increasing attention being given to reliability of electrical connectors focuses on the basic question of how the reliability of electrical contacts and connectors can be meaningfully determined.

The definition of reliability which will be assumed in this document is the following:

The probability of a product performing a specific function under defined operating conditions for a specified period of time.

Reliability is therefore a function of:

- a) The expected lifetime of the part.
- b) The application stresses (electrical, thermal, mechanical, chemical, etc.) the part will be subjected to during its life.
- c) The specified failure criteria.

Since these factors will be different for every application in which the connector may be used, a given connector will have a different reliability for every application in which it may be used. Therefore, a connector manufacturer cannot provide a reliability estimate for a contact or connector until the customer has provided a detailed description of the factors listed above for the application in which the connector will be used. To provide a numerical estimate of connector reliability, the manufacturer will then need to use the information provided by the customer to design a test program to simulate the application intended.

Some factors which are to be taken into account in addressing this definition are the subject of this document. The reliability assessment methodology to be discussed centres on appropriate statistical analysis of test data, based on proper consideration of the following issues.

- d) The active degradation mechanisms are to be identified and categorized by their importance for the application.
- e) Appropriate environmental tests, with corresponding acceleration factors, where practical and appropriate, and exposures, are to be determined for these degradation mechanisms.
- f) Use of a test sequence which provides an opportunity for the interaction of the potential degradation mechanisms as is necessary to realistically simulate the effects of the expected application.
- g) The statistical approach to estimating reliability from the test data is to be agreed upon.
- h) An acceptance criterion appropriate for the application of interest is to be established.

Items d), e and f) relate to the ability of the product to continue to perform its designated function under the degradation mechanisms it is subjected to in its operating environment. In addition, the need for an acceleration factor is fundamental to assessing the operating life of the product.

Item g) is necessary, since the reliability definition is based on probability which requires statistical treatment of appropriate data.

Finally, item h) is a result of the fact that the reliability to be assessed is based on the product performing a defined function.

The level of knowledge and understanding available to address these issues varies appreciably. Each topic is considered in a separate subclause.

It is to be noted that there are a number of other factors which have an effect on connector reliability. Among these are:

- i) the connector manufacturing process;
- j) assembly/application procedures of the equipment manufacturer;
- k) abuse/misuse of the equipment by the end user.

The importance of these application or extrinsic factors cannot be denied and may well be the final determinants of connector reliability. However, extrinsic factors are highly variable and, therefore, difficult to account for in any estimation of reliability. For these reasons, this document will focus on intrinsic connector reliability, i.e. the reliability of the design/materials of the connector itself as evaluated by the procedures listed previously. This intrinsic reliability represents the greatest reliability which the connector can achieve. The extrinsic factors will result in a reduction in reliability.

It is also to be noted that the approach to reliability estimation in this document differs significantly from that based on a base failure rate which is modified by application-specific factors as, for example, in IEC 60863 or MIL Handbook 217.

The two approaches are related in that the base failure rate could be determined by a different statistical treatment from the same data which are used in assessing reliability by the method to be discussed. The test environments and exposures would determine the standard conditions which are defined for the base failure rate. In addition, the derating factors used in the failure rate approach can, in principle, be derived from the same data used to determine acceleration factors in the proposed statistical method.

The advantage of the approach recommended in this document is that the standard conditions, acceptance criteria, and statistical treatment are specifically defined for the application under consideration. This is in contrast to a base failure rate starting point which is frequently poorly defined and documented.

ESTIMATION OF THE RELIABILITY OF ELECTRICAL CONNECTORS

1 Scope

This technical specification deals with the estimation of the inherent design reliability of electrical connectors through the definition and development of an appropriate accelerated testing programme. The basic intrinsic degradation mechanisms of connectors, which are those mechanisms which exist as a result of the materials and geometries chosen for the connector design, are reviewed to provide a context for the development of the desired test programme. While extrinsic degradation mechanisms may also significantly affect the performance of connectors, they vary widely by application and thus are not addressed in this document.

2 Normative references

There are no normative references in this document

3 Terms and definitions

No terms and definitions are listed in this document.

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

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

4 General considerations

4.1 General

Degradation leading to failure of a contact or connector can occur in many ways. For our purpose, it is convenient to divide the mechanisms into two categories, intrinsic and extrinsic.

4.2 Intrinsic degradation mechanisms

As mentioned in the introduction, intrinsic degradation mechanisms are those related to the design and materials of manufacture of the contact or connector. Examples are corrosion, loss of normal force through stress relaxation, and excessive Joule heating leading to temperature-related degradation.

4.3 Extrinsic degradation mechanisms

Extrinsic degradation mechanisms are related to the application of the contact or connector. Examples are inadequate controls during manufacture of the connector, improper assembly processes during equipment manufacture, contamination during application, degradation caused by use of the connector outside its rated temperature range (both ambient and enclosure-related) or by application of currents exceeding the product specification (in both single and distributed modes), and contact abuse resulting from improper mating practices (mating at excessive angles, pulling on cables, etc.) by the end user.

4.4 Control of extrinsic degradation

Extrinsic degradation can be taken into account by incorporating design features in the connector to reduce the potential for such degradation by proper specification of product performance by the connector manufacturer, and by proper use of the available information by the equipment manufacturer and end user. This is a joint responsibility which merits attention. The connector manufacturer can include strain relief for cables, finishes on contacts, improved crimps and other features intended to provide robustness against extrinsic degradation, but these can always be overcome through abuse or misapplication by the user. The concept of user includes the electrical equipment manufacturer as well as the ultimate user of the equipment. However, extrinsic degradation mechanisms, due to their variety and application dependence, are not something which can be straightforwardly analyzed, modelled or simulated. This limitation makes estimation of the effects of extrinsic degradation mechanisms on connector reliability problematic despite the fact that, as mentioned, such degradation mechanisms may be the major determinant of connector reliability in actual use. For this reason, when evaluating a system in which a connector will be used, an estimate of the reliability of a connector based on testing of the connector in isolation should be primarily used in conjunction with estimates of reliability of other components of the system to provide an initial prediction of system reliability. But as with any other component, the actual reliability of the connector in a system can be determined only through appropriate testing of the system in which it is used.

4.5 Failure effects, failure modes and failure (degradation) mechanisms

4.5.1 General

Given the context of the previous remarks, in this document the discussion is limited to a few aspects of intrinsic degradation, in order to describe an approach to connector reliability evaluation. For clarity, it is important to distinguish between failure effects, failure modes and failure (degradation) mechanisms.

A failure effect is the specific problem in operation which the customer will see. Examples specific to contact and connector failures are loss of signal, loss of power, overheating/burning, shorting, etc.

A failure mode is a physical description of the change in a part which may directly or indirectly result in a failure effect observed by the customer. Examples of failure modes specific to connectors or contacts are high resistance, reduced normal force, low insulation resistance, etc.

A failure or degradation mechanism is the physical, chemical or other process which resulted in the failure mode.

Note that while the term failure mechanism is often used, the term degradation mechanism more clearly describes what is being discussed. A degradation mechanism can often occur without causing failure if the level of degradation remains below some critical value. Therefore, for the remainder of this document, the term degradation mechanism will be used.

4.5.2 Failure modes

Only one failure mode, the variation in contact resistance, will be considered in this document, although many others exist, both mechanical (broken latches, bent pins, etc.) and electrical (crosstalk, leakage between contacts, etc.).

4.5.3 Degradation mechanisms

Three intrinsic degradation mechanisms which are well understood and which are known to have a major impact on contact resistance stability are considered:

- corrosion;
- stress relaxation;
- plating wear.

Corrosion of the contact interface causes an increase in contact resistance due to the formation of non conductive material in the contact interface. Stress relaxation results in loss of contact normal force which in turn can lead to increased contact resistance either directly, in the case of extreme loss of normal force, or indirectly through increased susceptibility to mechanical or corrosive degradation. Plating wear can lead to increased contact resistance if wear-through occurs to the contact underplate or base material, both of which are typically more susceptible to corrosion than the surface plating materials. These degradation mechanisms result, generally, in increases in contact resistance. The amount of degradation which occurs before reliability is affected depends on the application in which the connector is used and is, therefore, application specific, as will be discussed. A primary concern is that individually these degradation mechanisms may cause little or no increase in resistance. However, they can interact to cause contact failure.

Experience with the product, or with similar products or applications, allows us to categorize and rank the degradation mechanisms. Such categorization and ranking is necessary to define an appropriate testing programme and identify, when possible, how the test conditions relate to field performance and lifetime.

5 Test methods and acceleration factors

The objective of reliability testing is to cause in the test specimens levels of degradation which accurately reflect the levels of degradation which will be found in parts when they are used in the application being simulated. Once these levels of degradation have been caused by subjecting the test specimens to the specified test conditions, the performance of the test specimens can be evaluated against appropriate application failure criteria and the reliability of the parts in the application simulated by the test can be estimated. To be of use, the testing needs to accelerate the rates of degradation so that the required performance evaluation can be completed in a reasonable time. To know how much application time has been simulated by the test, it is necessary to know the acceleration factor of the test. In simple terms, the objective is to be able to state that X days of exposure to the test conditions used, which may activate a given degradation mechanism, are equivalent to Y years of service in the expected application conditions. The acceleration factor between the test exposure and field exposure is the time in the field which the test simulated divided by the time in the test. Note that other test duration units such as cycles may be used in place of time as appropriate.

Unfortunately, there are only a few tests appropriate for contacts and connectors for which such acceleration factors have been developed or determined. One of these tests, MFG (mixed flowing gas) exposure, stresses the degradation mechanism of corrosion and is primarily designed for use on contacts with noble metal based plating systems. Work to develop various MFG tests has been done at several laboratories in different countries and in some cases provides the required data from which acceleration factors can be derived.

Another test exposure for which acceleration factors can be determined is dry heat exposure, also known as temperature life or heat age exposure. This test accelerates the degradation mechanism of stress relaxation. Stress relaxation data are available for a broad range of copper alloys used in connectors. Consideration of these data will allow an acceleration factor to be defined for temperature life testing. However, stress relaxation is not linear with time. Therefore given a known application operating temperature and a specified test temperature it is still not possible to determine the acceleration factor of the test since the acceleration factor will change as the time in test increases. As a result of this non linear response of stress relaxation with time, increasing the test duration by a factor of X will not increase the lifetime simulated by the test by the same factor of X . In fact for a given test temperature, small increases in the lifetime which the test is used to simulate can cause very large increases in the required duration of the test. A method for determining the acceleration factor for dry heat exposures is provided in informative Annex A.

An important issue to note with stress relaxation testing is that stress relaxation relates only to the contact normal force and not directly to reliability as evaluated by resistance stability. Studies have shown that a large reduction in stress relaxation, and therefore normal force, can occur with minimal change in resistance. Therefore, the effects of stress relaxation on contact

reliability as assessed by contact resistance stability shall be evaluated in conjunction with other test exposures following a temperature life exposure. For example, exposing contacts in a mated state to a dry heat test and then exposing the same contacts to a vibration test which may cause motion at the contact interface may reveal a reduction in resistance stability which would be expected in actual use of the contact but which would not be evident through the use of a dry heat test only.

Other tests applied to electrical contacts and connectors but for which no acceleration factors are typically defined include:

- temperature cycling with high humidity typically used to assess corrosion effects in non noble metal plated contacts;
- mating/unmating or durability cycling used to assess wear effects;
- mechanical shock and/or vibration used to assess wear effects in general, fretting corrosion of non noble plated contacts, and fretting corrosion of noble plated contacts in which the noble metal surface plating has been worn through in vibration or other testing such as durability cycling performed prior to vibration;
- salt spray used to assess corrosion effects for products used in harsh environments such as marine applications and automotive applications in which the connector is directly exposed to the outside environment.

As these tests have no established acceleration factors, when used in isolation they indicate only the relative performance of connectors. The resulting data indicate only the behaviour of the connector system under the tests. They are not reliability tests yielding data on which estimates of behaviour under operating conditions can be based. However, these tests can be used within a properly designed sequence of test exposures which also includes MFG exposure and/or dry heat exposure to create a useful estimate of contact and/or connector reliability.

6 Basic contact and connector reliability testing protocol

The primary degradation mechanisms of concern when assessing changes in contact resistance may occur individually without having a significant detrimental effect on contact resistance. For example, environmental corrosion of a contact surface can create corrosion products around the contact interface. But as the actual microscopic points of metal to metal contact within the interface are essentially gas tight, the corrosion processes which occur in most applications will take much longer than the expected lifetimes of contacts before disrupting these points of contact and causing a noticeable increase in resistance. Similarly with stress relaxation, a significant decrease in contact normal force may occur without a significant increase in contact resistance. During mating, to create a clean metal to metal interface with a low electrical resistance, a relatively high normal force may be required, especially for non noble plated contacts. This force is necessary to displace oxides and other non conductive materials which may have accumulated the contact surface prior to mating. However, once this interface is created, in the absence of stresses which will cause the contact interface to move, the normal force required to maintain the low resistance interface is much less than that which was required to create the interface initially. Thus, if the contact interface does not move, normal may be reduced significantly without a detrimental increase in resistance. Since the primary degradation mechanisms in contacts have limited effect in most cases when occurring individually, a well designed contact will usually exhibit only a few mΩ of resistance change in testing when subjected to individual stresses which activate a single degradation mechanism.

However, in actual use, contacts are subjected to multiple stresses which can activate all of primary degradation mechanisms simultaneously. And these stresses can interact directly and indirectly to cause changes in resistance which are sufficiently large to cause failures in the systems in which the contacts are used. For example, an environment which may cause minimal corrosion on a new contact with intact plating may cause significant levels of corrosion if the contact plating has been worn through due to the action of mating and unmating or vibration. Further, the motion which caused the plating damage allowing corrosion to occur will

also shift the location of the contact potentially moving it into a location where corrosion exists. If in addition to these stresses, stress relaxation has occurred causing a reduction in contact normal force, the contact interface will have a lower mechanical stability. As a result, vibration levels and temperature cycling which may not have caused motion at the interface when the contact was new may now cause motion. And with the reduced normal force, the ability of the contact to displace non conductive material such as corrosion products will be reduced. In addition, the reduced normal force may make the contact susceptible to small (typically less than 0,1 mm) cyclic motions when subjected to vibration or temperature cycling. If these motions do occur in non noble metal plated interfaces or in noble metal plated interfaces in which the non noble metal under-plating or base metal is exposed, the degradation mechanism of fretting corrosion can occur and cause increased resistance.

Because it is the interactions of these degradation mechanisms which are most likely to cause contact failures, an effective reliability test protocol shall include tests which can potentially activate all these mechanisms in the same parts and in conjunction with potential contact interface motion drivers. A basic reliability test protocol should thus include the following:

- a) Tests such as vibration and durability cycling which can cause damage to plating.
- b) Tests such as mixed flowing gas (MFG) for noble metal plated contacts and temperature cycling with humidity for non noble plated contacts which can cause corrosion. Vibration and temperature cycling may also cause fretting corrosion in non noble plated contacts or noble plated contacts with damaged plating.
- c) Dry heat exposure to accelerate stress relaxation and cause reduced normal force.
- d) Tests such as temperature cycling, thermal shock, vibration, and mechanical shock which can cause motion at the contact interface.

Additional test exposures may be included as needed depending on the intended application. For example, power contacts which carry sufficient current to create increases in temperature sufficient to accelerate various degradation mechanisms should be subjected to current cycling. Testing of contacts to be used in areas of high particulate exposure may include dust exposure.

For each test method included in the reliability test sequence, the level of stress applied and the duration should be chosen such that the exposure causes a degradation which equals that expected to be caused during the life of the product in its intended application. In other words, they should place the test specimens in an end-of-life state. Therefore, it is desired that there be known acceleration factors for all the tests used. But as noted earlier, reliable acceleration factors are known for only dry heat stress relaxation tests and some MFG corrosion tests. Fortunately, due to the way the contact interfaces respond to certain stresses, a lack of acceleration factors for some tests does not prevent them being used in reliability evaluations.

One of the most important aspects of contact interface behaviour which allows tests without acceleration factors to still be used in reliability testing is that the degradation of contacts to certain stresses is not continuous. In other words, certain stresses do not cause a change in the contact interface until they cross some threshold level of severity. Further, once crossing a certain level of stress, these degradation mechanisms will then occur very quickly. One example of this type of stress is temperature cycling. As temperature increases and decreases, expansion and contraction of the contact or connector components will occur resulting in mechanical forces on the contact interface. Unless these forces are sufficient to overcome the frictional force at the interface, which is a function of the normal force and the coefficient of friction between the contact surface materials, no motion and thus no degradation will occur. But if the temperature cycles are at a level to cause motion at the interface in a non noble plated contact, fretting corrosion will occur and significant resistance change will be identified in relatively few test cycles, e.g. fewer than 1 000 cycles in tin interfaces and fewer than 100 in nickel interfaces.

Another common test that behaves in this manner is vibration. Within some domain of frequency, amplitude and/or acceleration levels, no movement will be caused in the contact interface. Beyond these levels, once movement is caused millions of cycles of motion will often

occur in less than an hour which may cause significant wear and possibly fretting corrosion depending on the metallurgy of the contact interface.

When these types of tests, which do not cause degradation below some stress threshold and then can potentially cause rapid degradation above these levels, are used in a reliability test program they essentially determine if the application stresses are too severe for the contact or connector design. Given this, a critical aspect to ensure when these tests are used is that they do not significantly exceed the expected application stresses. If they do, they may cause motions in the contact interface which will not occur in actual use and thus cause failures in testing which are not representative of performance which would occur in the application.

Another category of tests which do not have an acceleration factor but which can still be used in a reliability test program includes tests which can be performed at the same level and rate as the expected application stress and still place the product in its expected end-of-life degradation state in a reasonable amount of time. One example from this category of tests is durability, or mate/unmate, cycling. Obviously one unmate/mate cycle in a test is equivalent to one unmate/mate cycle in the application. Therefore, if during the life of a product it is expected that 100 durability cycles will occur, then a reliability test duplicating this with 100 cycles can be done.

A valid reliability test program can therefore be created using tests which both do and do not have known acceleration factors if those without known acceleration factors fit in one of the categories described above. Further, as was previously discussed, the reliability test shall be designed such that all the critical degradation mechanisms can interact. Ideally the design would excite all the degradation mechanisms simultaneously. In practice this is not possible. The tests required have conditions which are mutually exclusive. For example, MFG corrosion tests are normally run at temperatures in the range of 20 °C to 40 °C whereas a dry heat stress relaxation tests are run at temperatures exceeding 90 °C. Because of this, connector reliability test programs shall apply the required stresses using a sequence of test exposures. The sequence in which the tests are applied then becomes important. For example, at least some durability cycling which may damage plating needs to be performed before corrosion testing begins since in actual use the plating may be damaged when corrosion stresses occur.

Based on the issues discussed above, a core test protocol to evaluate reliability using resistance change as the performance criterion can be defined for contacts and connectors. The core testing shall place the contacts in an end-of-life state for the degradation mechanisms of wear, corrosion, and stress relaxation and then subject the test specimens to appropriate potential motion drivers such as temperature cycling and vibration. For a non noble metal plated contact system, the core testing will be:

Durability cycling: This can potentially cause plating damage or wear making the contact more susceptible to subsequent corrosion tests. The number of cycles will typically be representative of the number expected during the life of the product in the intended application. If the product is expected to be mated and unmated regularly during life, the test cycles may be performed in sets starting before and then performed periodically during a corrosion test.

Dry heat: This test will cause stress relaxation in mated contacts. It is done before fretting corrosion stress tests such as temperature cycling and vibration as contact interface motion which causes fretting corrosion will be more likely when contact normal force has been reduced due to stress relaxation.

Temperature cycling: This test may cause interface motion leading to fretting corrosion. For tin plated interfaces it will typically require 500 to 1 000 cycles before the effects of fretting corrosion are seen. Nickel interfaces typically exhibit the effects of fretting corrosion after 50 to 100 cycles. As was noted previously, the temperature extremes used in the test may be beyond those in the expected application to provide a margin of safety. However, setting the test conditions significantly beyond the application conditions may cause interface motion and thus failures which are not representative of the performance which will occur in the application.

Vibration: This test may cause interface motion leading to wear or fretting corrosion or both. If the vibration level causes motion at the interface, significant changes in resistance will

typically occur within a few (typically one to eight) hours. As was noted previously, the maximum frequency and amplitude/acceleration levels used in vibration testing may be beyond those in the expected application to provide a margin of safety. However, setting the test conditions significantly beyond the application conditions may cause interface motion, and thus failures, which are not representative of the performance which will occur in the application being simulated. Further, if vibration is not a significant stress in the application environment, this test should not be included.

For a noble metal plated contact system, the core testing will be:

Durability cycling: This can potentially cause plating damage or wear making the contact more susceptible to subsequent corrosion tests. The number of cycles will typically be representative of the number expected during the life of the product in the intended application. If the product is expected to be mated and unmated regularly during life, the test cycles may be performed in sets starting before and then performed periodically during a corrosion test.

Dry heat: This test will cause stress relaxation in mated contacts. It is done before fretting corrosion stress tests such as temperature cycling and vibration as contact interface motion which causes fretting corrosion will be more likely when contact normal force has been reduced due to stress relaxation. Note that contacts with noble platings will typically exhibit fretting corrosion only if the surface plating has been worn through thus exposing the non-noble under-plate, if used, or base metal.

Mixed flowing gas: This may cause corrosion due to poor quality plating or damage to plating from assembly, mate/unmate cycling, etc. It may also cause corrosion in areas which do not contain noble plating. This corrosion may occur very near to the contact area or may spread across non-noble or unplated surfaces into the area surrounding the contact interface. Subsequent motion drivers may cause the contact interface to shift into an area of corrosion. Consideration should be given to whether the connector should be mated or unmated during part or all of the exposure. Also, if the connector will be unmated during any of the exposure, typically only one half, plug or receptacle, of each connector pair will be exposed. The half chosen for unmated exposure should be based on the intended application. An example would be a cable used in a computer workstation or server to accommodate future addition of peripheral devices such as a data storage device. This cable would include several plugs which are not initially used and thus may remain in an unmated state for two to five years of service in the system prior to being mated to a new storage device. The receptacle on the new storage device will be in a virgin state. To simulate this application then, the plug used on the cable would be exposed in an unmated state to an MFG test for a duration simulating up to five years of use in the intended application. After this it would be mated to an unexposed receptacle and the pair would then additional MFG exposure of the mated pair would be done for a duration simulating the additional expected lifetime of the intended application.

Temperature cycling: This test may cause interface motion resulting in the contact interface shifting to an area with corrosion. If non noble under-plate or contact base metal are exposed prior to temperature cycling fretting corrosion may occur during this test. As was noted previously, the temperature extremes used in the test may be beyond those in the expected application to provide a margin of safety. However, setting the test conditions significantly beyond the application conditions may cause interface motion, and thus failures, which are not representative of the performance which will occur in the application.

Vibration: This test may cause interface motion resulting in the contact interface shifting to an area with corrosion. If non noble under-plate or contact base metal are exposed prior to this test fretting corrosion may occur during this test. If the vibration level causes motion at the interface significant changes in resistance will typically occur within a few (typically one to eight) hours. As was noted previously, the maximum frequency and amplitude/acceleration levels used in vibration testing may be beyond those in the expected application to provide a margin of safety. However, setting the tests conditions significantly beyond the application conditions may cause interface motion, and thus failures, which are not representative of the performance which will occur in the application. Further, if vibration is not a significant stress in the application environment, this test should not be included.

In addition to the core testing included above, other testing may be added if appropriate for the intended application conditions. Examples of such tests are dust contamination, thermal shock, mechanical shock, electrical current cycling, etc. Consideration shall be given to the appropriate placement of such tests within the test sequence. For example, if a dust exposure is to be included, should it be included at the beginning of the test sequence as might be appropriate for a part which may be unmated for some time in an application before being mated? Or would it be included after mating but before other stresses such as vibration, which might better represent a use condition of parts which are mated as soon as the system they are to be used in is assembled? Again, the choice would depend on the intended application for which the test program is being designed.

The protocols described above serve as a basis for developing a connector reliability test program. For a specific connector type, determining the specific test methods and conditions to be used and the order in which they should be applied in the reliability test sequence requires a full understanding of contact and connector behaviour. It is also necessary that the application stresses be identified and that their levels be known.

7 Reliability statistics

7.1 Basic statistical approach to estimating reliability for variables data

This clause focuses on reliability predictions for failure criteria based on variables data, i.e. data for performance criteria which are measurable values such as contact resistance, temperature increase, mating force, etc. Variables data have distributions to which a variety of statistical treatments can be applied.

Failure criteria based on attribute data, i.e. data which do not represent a measurable value but which consist of simple statements such as good/not-good or pass/fail will not be discussed in this document. Attribute data includes criteria such as intermittent electrical discontinuity, fracture of a latching mechanism, etc. The statistical treatment of attribute data is rather limited, and large sample sizes are needed to provide confidence in the conclusions. Also, given the typically small sample sizes used in testing, in most situations when contact or connector failures of these types occur, a single failure of the product would normally be indicative of unacceptably low product reliability. No reliability estimate is thus required.

As discussed above, a reliability test program for connectors will subject parts to a sequence of environmental, mechanical, electrical, and possibly other stresses with the goal of creating a level of degradation in the parts similar to that which will occur over the lifetime simulated by the test sequence. Once in this end-of-life state, measurements are made of the desired performance factor, e.g. contact resistance, mating force, temperature increase at a specified current, etc. Given a specified failure criterion, these test data may then be analyzed using a variety of statistical techniques to determine the probability that any given part will perform without failing during the lifetime which was simulated in the testing performed. This probability represents the reliability of the parts.

A detailed explanation of the use of reliability test data to provide estimates of product reliability will not be provided here. These techniques are not specific to connector reliability and have been covered extensively in texts on the topic of reliability as well as in some IEC standards, e.g. IEC 61709. Further the specific analysis required will vary depending on the characteristics of the data being analyzed and a full discussion of this is beyond the scope of this document. But an overview of the basic steps is provided here.

The fundamental process in estimating the product reliability from appropriate test data requires that the data first be fit to a distribution with known characteristics. The distribution should be one known to be typical of well behaved data of the type being analyzed. For example, well behaved contact resistance and change in resistance data will typically exhibit a normal or lognormal distribution. Once the data are fit to an appropriate distribution, the characteristics of the distribution are used to estimate the range of performance expected in the entire population of parts beyond the small number of parts actually tested. These

estimates shall also include an adjustment based on a tolerance-factor. This factor will be a function of sample size, required confidence level, and the reliability level estimated.

7.2 Contact vs. connector reliability

When considering what distribution may be appropriate to describe the data and thus used as a basis for estimating the reliability of the product, special consideration is required when estimating the reliability of individual contacts versus estimating reliability for a connector with multiple contacts. In the case of a multiple position connector, the connector is typically considered to have failed if any contact within the connector fails. If all contacts within the connector responded statistically identically to the stresses applied, i.e. their performance is not affected by their position within the connector, the connector reliability will simply be the estimated individual contact reliability raised to the power of the number of contact positions in the connector as shown in the formula below:

$$R = r^n$$

where:

R is the connector reliability;

r is the individual contact reliability;

n is the number of contact positions.

It is important to employ appropriate statistical techniques to confirm contact performance is actually independent of position in the connector housing before estimating connector reliability on this basis. In fact, in many cases, due to positional effects in the connector, it is likely that each contact will react differently to the stresses which are applied to the connector. An example of this is the degradation of a contact caused by the internal heating which occurs when a current is applied. In a multiple position connector, contacts along the outer walls will dissipate internally generated heat much more efficiently than contacts in the centre of the connector with the same current applied. Therefore, the outer contacts will operate at a lower temperature than the inner contacts. This will affect the rate of some degradation mechanisms, e.g. stress relaxation, resulting in a slower rate of degradation for the outer contacts as compared to the rate for the inner contacts operating at a higher temperature.

Corrosion rates can be significantly affected by the position of the contacts within a connector housing. Noble metal plated contacts in positions along the outer walls of connectors with three or more rows of contact may exhibit faster rates of environmental corrosion especially if the connector is exposed to pollutant gasses in an unmated configuration. Non-noble metal plated contacts may be more susceptible to fretting corrosion in certain positions within connectors due to the how the housing reacts to vibration, mechanical shock, temperature cycling, and thermal shock. In addition, plating wear resulting from various stresses such as mate/unmate cycling, vibration, mechanical shock, temperature cycling, thermal shock, etc., can vary between different connector positions leading to increased corrosion rates for contacts experiencing the greatest level of contact wear.

Based on the preceding discussion, estimating connector, rather than contact, reliability shall in most cases be done under two assumptions which are true in the majority of cases:

- The failure of any contact within a connector constitutes failure of the connector
- The behaviour of the contacts will be influenced by the position they occupy within the connector

One effect of these assumptions is that the reliability of connectors will be dominated by the performance of the contacts in those positions which typically have the greatest level of degradation. Therefore, estimates of the reliability of connectors using variables data will not be based on the performance data from all contacts in the connector. Instead, the estimate will be based on a subset of the data. This subset will consist of the measurement made of worst performing contact within each connector tested. For example, consider a test performed using 10 connectors, each containing 20 contacts. If the performance measure of interest is

increased contact resistance, then a total of 200 contact resistance readings would be made at each reading interval. However, for the purpose of estimating connector reliability, the data set to be analyzed would contain 10 values consisting of the readings for the contacts with the largest increase in resistance from each connector.

Another effect of the assumptions stated above is that the subset of data used for the estimate will not be well characterized using typical distributions such as normal and log-normal distributions. As the values being analyzed are the worst case values (smallest or largest) from each connector, they represent only the extreme portions of the distributions of the population of all contacts from which they were selected. For these reasons, a data set consisting of individual extreme values taken from each of several test specimens which provided multiple readings are usually best evaluated using an appropriate extreme value distribution. An example of this approach is provided in Annex B.

7.3 Estimating contact / connector reliability estimates in terms of MTTF/MTBF

A common method of stating reliability is in terms of MTTF (Mean Time to Failure) in the case of non-repairable devices, or MTBF (Mean Time Between Failures) in the case of repairable devices. These values are often mistakenly interpreted as indicating the operating time at which half of the parts can be expected to have failed, thus representing the lifetime for 50 % reliability. However, the actual reliability at MTTF or MTBF depends on the time-to-failure distribution of the product in some application. If this distribution is symmetrical, then 50 % of the product will fail before reaching MTTF or MTBF. However, if the time-to-failure distribution is not symmetrical, then the reliability at MTTF or MTBF may be greater or less than 50 % depending on the shape of the time-to-failure distribution. For example, a product with a constant failure rate will exhibit an exponential time-to-failure distribution resulting in approximately 63 % of product failing before MTTF or MTBF. Thus in this case reliability at MTTF or MTBF is just 37 %.

In order to define the time-to-failure distribution in a reliability test, it is necessary to have data documenting the length of test exposure at which each failure occurred. If failure is a result the interaction of multiple stresses, then collecting the necessary information to define the time to failure distribution would require that the test be able to simultaneously create all the necessary stresses at the same accelerated rate. As has already been discussed, it is not possible to perform such a reliability test with electrical contacts. Therefore, it is generally not possible to characterize the expected lifetime time-to-failure distribution using data from a connector reliability test. This prevents providing an estimate of MTTF or MTBF, unless some assumption is made for the characteristic time-to-failure distribution of the product.

8 Acceptance criteria

A critical question in any reliability test program is what is the appropriate acceptance criterion to use in calculating contact reliability? Consider two possibilities: the product specification and an application-related value. For reliability testing the product specification criteria are **not** the proper choice. The product specification values have a reliability aspect to them in the sense that the manufacturer has tested the product design to ensure that the specified values will be maintained under the test conditions stated in the product specification or in a general category of applications. Generally, the actual application conditions will not be known. This is especially true for contacts and connectors which are suitable for many applications and, in fact, may perform under different conditions and with different acceptance criteria even in the same system. To account for these unknown factors, the product specification value includes an engineering safety/ignorance factor. In other words, connector product specification acceptance criteria typically require greater performance than necessary for most applications in which the connectors will be used.

In a particular application, on the other hand, a user will have established a value, such as maximum contact resistance, at which the system ceases to function properly. Using contact resistance as an example, this value might be over 100 mΩ in a signal application, or under 0,5 mΩ for a high current contact. The acceptance criterion, which shall be known when determining a reliability estimate, shall thus be based on the application-specific value and not

the product-specification value. The requirement on statistical confidence limit and reliability in the particular application should then be applied with this application-specific acceptance criterion as the acceptance limit.

Simply stated, the correct acceptance criterion value to use in estimating contact or connector reliability is the maximum or minimum value which can be tolerated without failure in the actual application for which the reliability estimate is being developed. The typically more stringent product specification acceptance criteria are neither required nor appropriate in a reliability test program because, in a reliability test program, the actual application conditions and requirements will have been defined, thus the engineering safety/ignorance factor is largely eliminated.

9 Summary and conclusions

Some approaches to estimating the reliability of electrical contacts and connectors have been discussed. Estimation of connector reliability is a complex issue for at least two reasons. First, extrinsic or application-related degradation mechanisms, which may be the major factors in determining connector reliability, are highly variable and difficult to identify and quantify. Second, the intrinsic degradation mechanisms which define the fundamental reliability of a given connector, determined by its design and materials of manufacture, require the definition of an acceleration factor to relate laboratory exposure to application lifetime. Such a factor cannot be determined for many potential connector degradation mechanisms. Given these limitations, a reliability estimation programme to work within these limitations is suggested. The recommended approach includes statistical analysis of test data, and considers the active degradation mechanisms, determination of appropriate environmental tests with corresponding acceleration factors and exposures, statistical analyses appropriate for the test data, and establishment of appropriate acceptance criteria. Each of these issues was treated separately. Finally, multi-position connectors were discussed.

The recommended reliability estimation programme consists of the following:

- a) Determining an application-specific acceptance criterion for contact resistance. A criterion is also required for every other performance factor to be included in the programme.
- b) Developing a test programme to address the anticipated degradation mechanisms operative in the application. The program should apply multiple stresses to single groups of parts to allow interaction of degradation mechanisms as will occur in actual applications.
- c) Deriving acceleration factors, when possible, for the specified tests. If an acceleration factor cannot be defined, no reliability statement can be made, since the operating lifetime simulated by the test exposure cannot be determined. However, for stresses primarily intended to potentially drive contact motion, an acceleration factor may not be required.
- d) Deciding on the statistical treatment appropriate to the data from the reliability estimation programme.
- e) Estimating the component reliability.

All of these considerations depend heavily on engineering judgment. Both the connector manufacturer and the user should agree on the content and approaches to be specified in these steps, in particular, and the reliability estimation programme, in general, to ensure that the results obtained are relevant to the application under consideration.

Annex A (informative)

Determining the stress relaxation acceleration factor for dry heat test conditions

A common approach to determine the acceleration factor for stress relaxation tests is the use of the Larson-Miller relationship. The Larson-Miller relationship is derived from the Arrhenius life relationship which is a model used to estimate the effects of various temperature dependant degradation mechanisms, including stress relaxation.

The Arrhenius life relationship formula is:

$$t = A \exp[E / (kT)]$$

Using this relationship for stress relaxation:

- t is time in hours to reach a specified level of stress relaxation;
- A is a constant specific to the metal involved;
- E is the excitation energy specific to the metal involved;
- k is Boltzmann's constant;
- T is the absolute Kelvin temperature the part is exposed to.

The Larson-Miller relationship derived from the Arrhenius life relationship is:

$$LM = T [C + \log(t)]$$

Where:

- LM is the Larson-Miller Parameter;
- C is a material constant (it is equal to the negative natural logarithm of the constant A from the Arrhenius relationship).

For a given material and degradation mechanism which is modelled by the Arrhenius life relationship, any combination of time and temperature exposure producing a specified value for the Larson-Miller parameter will produce the same level of degradation. Therefore, given a specified lifetime at a specified operating temperature and with the material constant C known, the LM parameter for a contact in the specified application can be calculated. Any temperature life test to produce the same stress relaxation in the part shall then have a combination of time and temperature which will produce the same LM value. This then allows the acceleration factor for the test to be determined as follows:

$$LM_o = T_o [C + \log(t_o)]$$

Where:

- LM_o is the LM parameter for the application conditions;
- T_o is the absolute Kelvin temperature of the application;
- t_o is the lifetime in hours at the application operating temperature.

$$LM_t = T_t [C + \log(t_t)]$$

Where:

- LM_t is the LM parameter for the test conditions;
- T_t is the absolute Kelvin temperature of the test exposure;
- t_t is the test exposure time in hours.

As noted previously, for the test to duplicate the stress relaxation expected in actual application, the LM values of the application and the test shall be equal. Thus:

$$LM_o = LM_t$$

$$T_o [C + \log(t_o)] = T_t [C + \log(t_t)]$$

Based on this, the relationship of test time, t_t , to operating lifetime, t_o , is:

$$t_t = 10^{\{(T_o / T_t) (C + \log(t_o))\} - C}$$

This formula thus shows there is a non-linear relationship between test time and operating time for a given combination of operating and test temperatures. Thus the acceleration factor, defined as t_o / t_t , will vary as the operating time to be simulated changes. This is also true if the test temperature is changed.

Annex B (informative)

Using extreme value distributions to estimate reliability for multiple position connectors

As discussed in 7.2, the position of a contact in a multiple position connector may affect its response to various environmental, mechanical, and electrical stresses. Therefore, within an individual connector, measurements such as resistance, temperature change due to applied current, etc., for individual contacts cannot be assumed to represent measurements taken from a homogenous population of contacts even though the contacts are identical from a manufacturing perspective. For example, consider a connector consisting of four rows each with 4 contacts arranged as illustrated in Figure B.1.

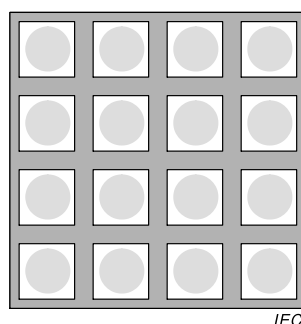


Figure B.1 – Contact arrangement in a square 16 pole connector

If all the contacts were energized simultaneously with the same level of current it would be expected that the four contacts in the centre positions would exhibit the highest increase in temperature as their ability to dissipate heat is restricted on all sides by both the greater distance between them and the outside connector wall and by each being surrounded by eight other contacts also generating heat. The four corner contacts would be expected to have the lowest temperature increase as they can readily dissipate heat directly to the environment through two contact walls and are influenced by heating of only three neighbouring contacts. The other eight contacts would be expected to have temperature increases between those of the centre contacts as they can dissipate heat directly to the environment on only one side and are surrounded by five other contacts generating heat.

Given such positional effects in this example, the temperature increases seen in all sixteen contacts do not represent a single population. Instead there are potentially three distinct populations. Ultimately, the reliability of the connector will be dominated by the performance of those contacts with the most extreme behaviour. Therefore a subgroup of data made up of only the highest or lowest measured value from each connector should be used to estimate the connector reliability. Whether the highest or lowest values are used depends on whether failure occurs due to a performance measure exceeding some criterion (e.g. maximum allowed resistance) or failure occurs due to a performance measure being less than some desired value (e.g. minimum required unmating force). As noted in 7.2, since the data used in estimating connector reliability will be only the highest or lowest values from each connector, they are typically best modelled by either a smallest or largest extreme value distribution.

An example of the use of a largest extreme value distribution for estimating connector reliability is provided using the following data which was randomly generated using a largest extreme value distribution with a location factor of 5 and a scale factor of 2.

2,802, 3,209, 4,043, 4,376, 5,752, 6,917, 7,002, 7,097, 9,639, 10,319

Assume these data represent the highest change in resistance values for each of ten multi-position connectors. Given these data a question which may be asked is “will the connector

provide a minimum reliability of 99,9 % given a maximum allowed lifetime change in resistance of 20 mΩ?” Stated another way, the question is “will fewer than 1 connector in 1 000 contain a contact with a change in resistance greater than 20 mΩ at the end of the lifetime simulated by the reliability test program?”

In the following chart these (Figure B.2) data are plotted assuming a fit to a largest extreme value distribution.

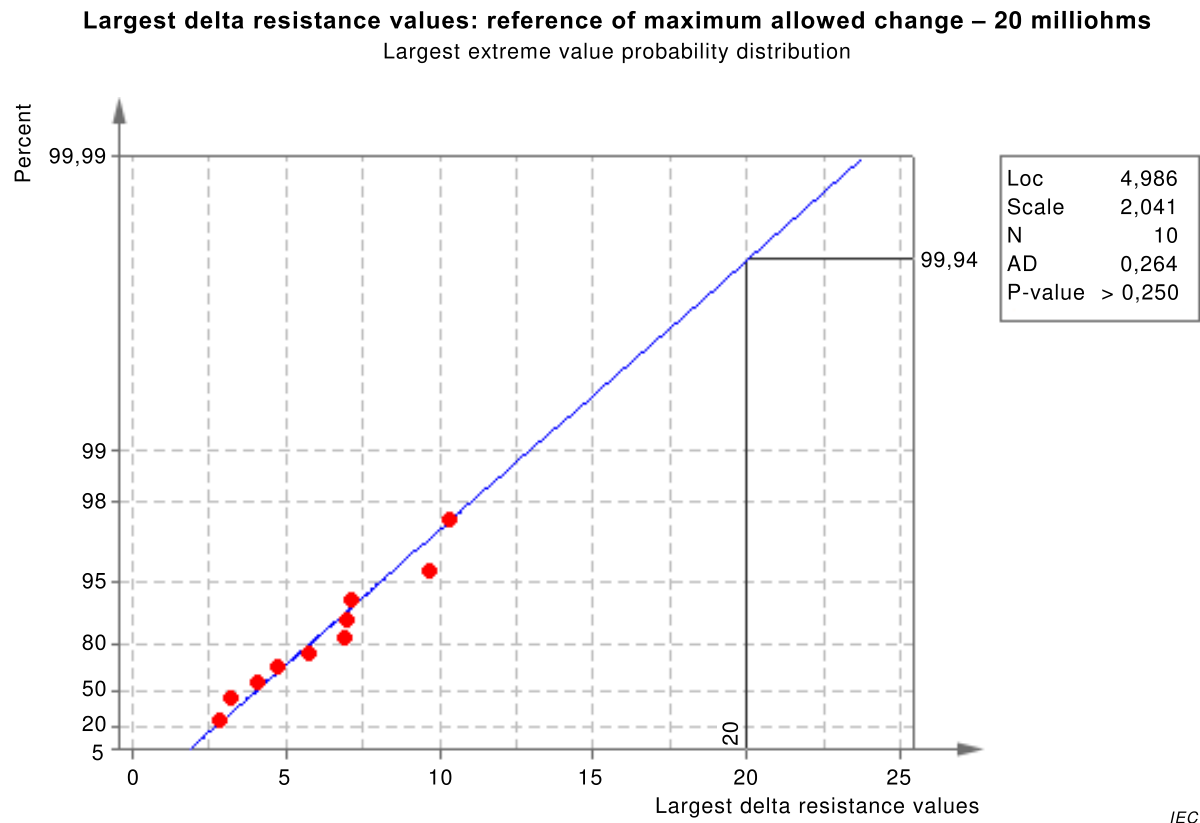


Figure B.2 – Largest ΔR values: reference of maximum allowed change – 20 mΩ

The best estimate for the reliability at a failure criterion of 20 mΩ is 99,94 %. In other words, for every 10 000 connectors used in the intended application, it is estimated that 6 will fail, i.e. contain at least one contact with a change in resistance greater than 20 mΩ, before the end of life. This is greater than the required reliability of 99,9 %.

However, statistical uncertainty in the estimate shall be considered. Given the small though, for connector testing, typical sample size of 10 data points, the uncertainty is relatively large. The chart below (Figure B.3) is similar to that above, but the uncertainty in the actual change in resistance values for a given reliability level is represented by the two outer lines.

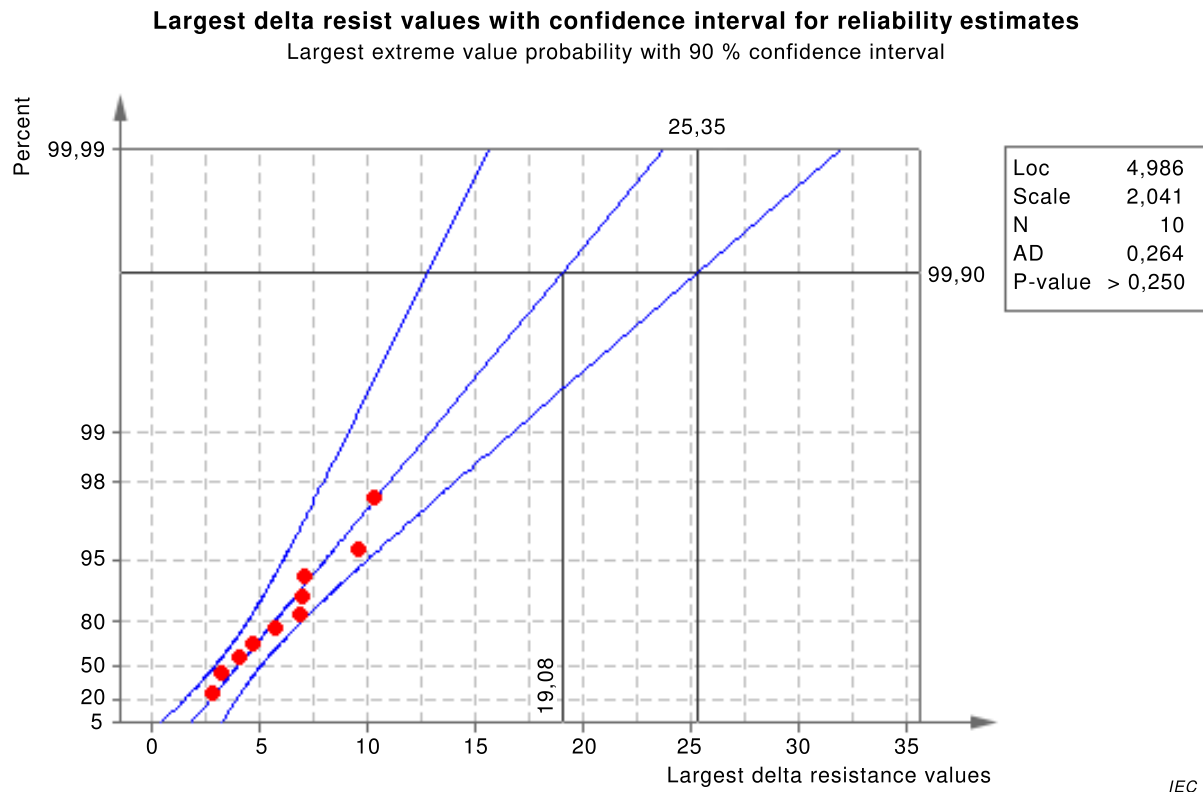


Figure B.3 – Largest ΔR values with confidence interval for reliability estimates – Largest extreme value probability with 90 % confidence interval – Sample size = 10

While the centre line indicates the best estimate for change in resistance at a given reliability level, the outer lines indicate a confidence interval, i.e. a range of delta resistance values, which has some stated probability (90 % in this example) of containing the true 99,9 % reliability value. For the data used in this example, the best estimate for 99,9 % reliability is a failure criterion allowing a maximum change in resistance of 19,08 m Ω . However, there is a 90 % probability that the true value for an allowed maximum change in resistance compatible with 99,9 % reliability is between the points where the 99,9 % reference line intersects the 90 % lower and upper confidence interval boundaries. This range is from 12,81 (not shown on the chart) to 25,35 m Ω . There is a 5 % probability that the true value is less than 12,81 m Ω and a 5 % probability that the true value is greater than 25,35 m Ω .

In most cases the concern is with either the upper or lower confidence boundary. In this case, since failure is a result of exceeding a stated change in resistance value, the concern is with the upper boundary. Thus it can be stated that given the example data analyzed, at a 95 % level of confidence, the product will achieve 99,9 % reliability given a failure criterion of a maximum change in resistance of 25,35 m Ω . The 95 % level of confidence results from the fact that, as stated above, there is a 5 % probability the true 99,9 % reliability value is greater than 25,35 m Ω . Analysis of the data in this example would not support an estimate of 99,9 % reliability with 95 % confidence at the originally stated failure criterion of 20 m Ω maximum change in resistance. Further analysis, not shown here, would show that there would be just 60 % confidence of achieving 99,9 % reliability given a failure criterion of 20 m Ω maximum change in resistance.

Note that one concern when using only the most extreme value for contacts from each connector to make reliability estimates is that the sample size used will be small. It will be equal to the number of connectors tested. Using small sample sizes limits the precision of the resulting reliability estimates, thus the confidence intervals which result may be relatively large as was seen in this example. Consider the same data set used in the previous example but in which the test program used only five connectors as opposed to ten. The following five values were chosen randomly from the original set of ten and then analyzed using a largest extreme value distribution to fit the data, see Figure B.4.

3,209, 4,376, 7,097, 9,639, 10,319

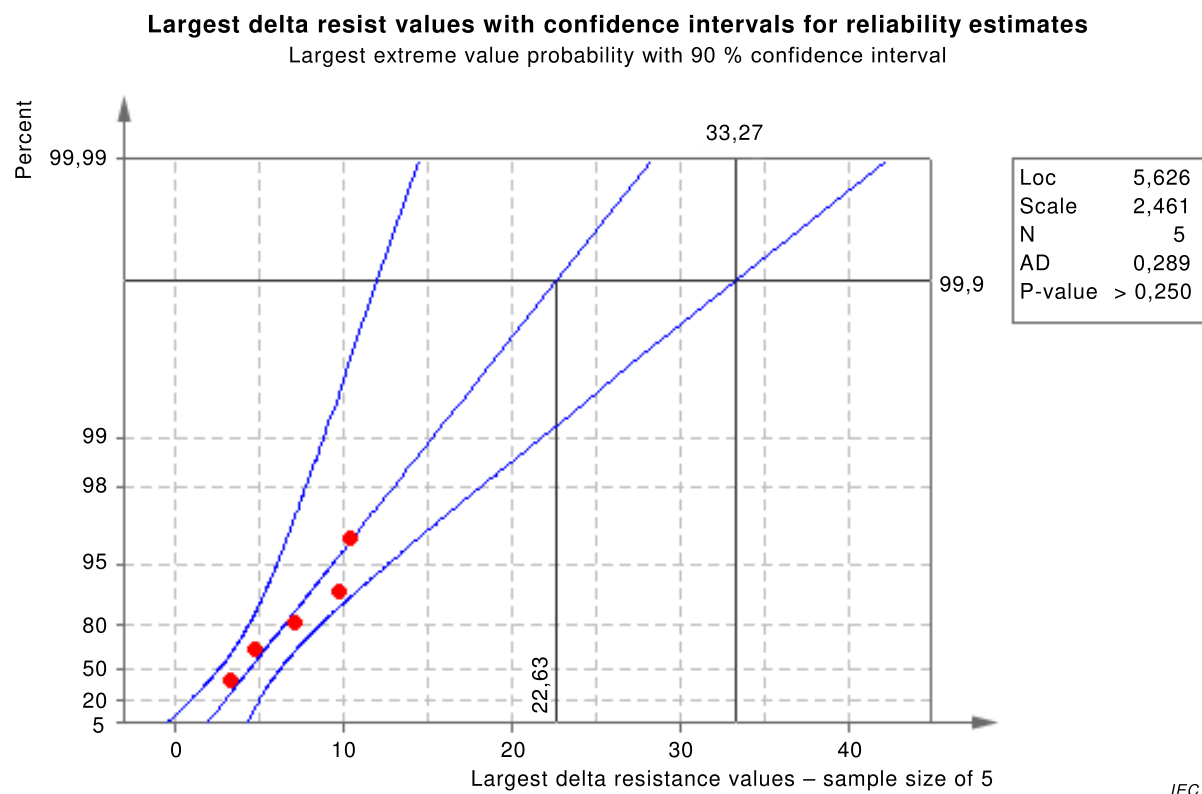


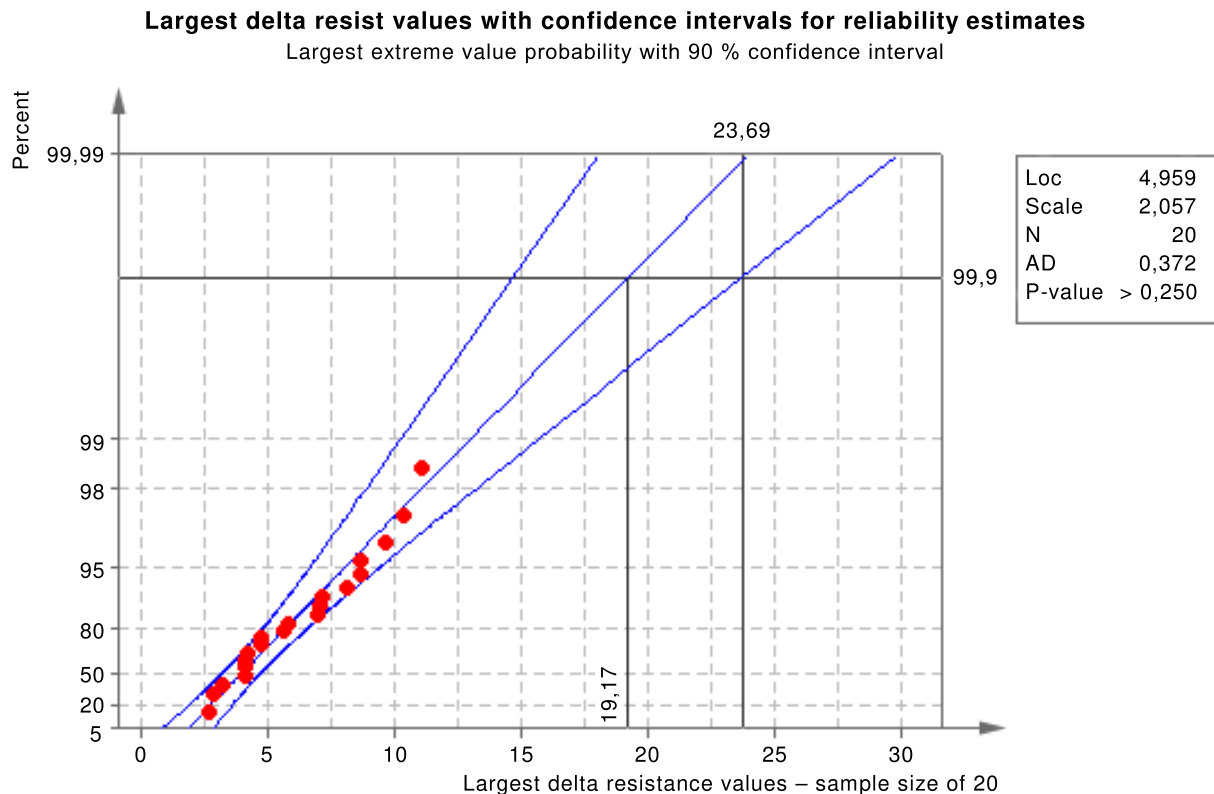
Figure B.4 – Largest ΔR values with confidence interval for reliability estimates – Largest extreme value probability with 90 % confidence interval – Sample size = 5

With this reduced data set the 90 % confidence interval at the 99,9 percentile is now 11,98 to 33,27 and thus larger than the range 12,81 to 25,35 m Ω based on the original full data set of ten values. Of particular note is the increase in the upper limit estimate which increased from 25,35 m Ω with a sample size of ten to 33,27 m Ω with a sample size of five. Conversely, it could also be stated that increasing from a sample size from five to ten led to an improvement in the precision of the estimate of the confidence interval leading to a reduction in the estimated upper limit estimate from a value of 33,27 to one of 25,35 m Ω .

An example of using a larger sample size of 20 is provided below. The data set below includes the original ten values but has been expanded to include ten additional values generated randomly for a largest extreme value distribution with the same parameters as the original data set.

2,619, 2,801, 3,209, 4,036, 4,042, 4,088, 4,168, 4,674, 4,736, 5,591, 5,752, 6,917, 7,002, 7,097, 8,095, 8,663, 8,677, 9,639, 10,319, 11,064

A probability plot for this data fitted to a largest extreme value distribution is shown in Figure B.5.



IEC

Figure B.5 – Largest ΔR values with confidence interval for reliability estimates – Largest extreme value probability with 90 % confidence interval – Sample size = 20

With this increased sample size of 20, the 90 % confidence interval at the 99,9 percentile is now 14,64 to 23,69, which is smaller than the range 12,81 to 25,35 m Ω based on the original data set of ten values. Increasing the sample size further would in general be expected to further reduce the size of the confidence interval.

As with any statistical estimate based on fitting a distribution to sample data, caution should be used in extrapolating values outside the range of the data. The statistical uncertainty (assuming the model is correct) in the answer should be calculated, and the engineering uncertainty (because the model might not be correct) should be estimated by any reasonable method available, such as by comparing results from parametric and non-parametric (distribution-free) analyses.

The primary purpose of the preceding examples is to demonstrate the use of extreme value distributions using the largest (as in this example) or smallest value for the contacts in each connector tested. Multiple examples were provided to illustrate the effect of sample size on the precision of the estimate of the confidence interval. Since the use of extreme value distributions to fit the reliability test data will use only a single (largest or smallest as appropriate) value for each connector tested, sample size will be equal to the number of connectors tested. Therefore, in order to achieve sufficient precision in the reliability estimate to avoid conservative assessments which may reject designs which are, in fact, acceptable, testing a relatively large number of connectors may be required. However, in contrast to test programs which use multiple groups of connectors each tested to a single dominant stress, the connector reliability test protocol defined in this document uses a single group of connectors subjected to multiple types of stress. Therefore, the total number of connectors required for a reliability test program using the protocol defined in this document and analyzed using an extreme value distribution, as appropriate, may be similar to that required for test programs using multiple groups of connectors each subjected to a different type of stress.

Bibliography

W. H. Abbott, “The Corrosion of Porous Gold Platings in Field and Laboratory Environments”, *Proc. Thirteenth International Conference on Electrical Contacts*, Lausanne, 1986, pages 343-347. [Corrosion testing via mixed flowing gas exposures.]

W. H. Abbott, “The Development and Performance Characteristics of Mixed Flowing Gas Test Environments”, *Proc. IEEE Holm Conference on Electrical Contacts*, Chicago, 1987, pages 63-78. [Corrosion testing via mixed flowing gas exposures.]

W. H. Abbott, “The Development and Performance Characteristics of Mixed Flowing Gas Test Environment”, *IEEE Trans. on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology*, Vol. 11. No. 1. March 1988 [Corrosion testing via mixed flowing gas exposures.]

R. B. Abernethy, J. E. Breneman, C. H. Medlin, G. L. Reinman, *Weibull Analysis Handbook*, AD-A143 100 (AFWAL-TR-83-2079); NTIS, Springfield, VA 22161 USA

K. L. Beach, V. C. Pascucci, “Contact Stress Relaxation and Resistance Change Relationships in Accelerated Heat Age Testing”, *Proc. IEEE Holm Conference on Electrical Contacts*, Chicago, 2000, pages 1-17, [Stress relaxation testing via temperature life exposures.]

C. Cunnane, “Unbiased Plotting Positions – A Review”, *Journal of Hydrology*, vol. 37, pages 205-222. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 1978.

F. Jensen, N. E. Petersen, *Burn-In: An Engineering Approach to the Design and Analysis of Burn-in Procedures*, 1982; John Wiley & Sons. [Pages 4-5: failure modes and failure mechanisms.]

K. C. Kapur, L. R. Lamberson, *Reliability in Engineering Design*, 1977; John Wiley & Sons. [Pages 40-45, 152-159, 295-308, and Appendixes 8-13: Weibull and extreme-value analysis.]

J. R. King, *Probability Charts for Decision Making*, 1971; Industrial Press. [Chapter 11: The extreme-value distribution.]

S. J. Krumbein and R. S. Mroczkowski, “Environmental Testing of Electronic Connectors”, *Proc. SUR/FIN '90* (International Technical Conference of the American Electroplaters and Surface Finishers Society), Boston, July 1990, pages 781-792.

F. R. Larson and J. Miller, *A Time-Temperature Relationship for Rupture and Creep Stresses*, Trans. ASME, Vol. 74, July 1952, p 765-771

E. E. Lewis, *Introduction to Reliability Engineering*. 1987; John Wiley & Sons. Pages 185-199, (Extreme-value distributions.)

R. F. Mallina, W. P. Mason, J. W. McRae, T. F. Osmer, and R. H. Van Horn, “Solderless Wrapped Connections”, *The Bell System Technical Journal*, vol. XXXII, number 3, May 1953, pages 523-610. [Stress relaxation testing via temperature life exposures.]

W. Q. Meeker, L. A. Escobar, *Statistical Methods for Reliability Data*, Wiley, 1998 (701p).

W. B. Nelson, *Accelerated Testing: Statistical Models, Test Plans, and Data Analysis*, Wiley, 2nd Ed., 2004 (616p).

W. B. Nelson, *A Bibliography on Accelerated Test Plans*, IEEE Trans. on Reliability, Vol. 54, No. 2, June 2005, p 194-197

W. B. Nelson., *A Bibliography on Accelerated Test Plans – Part 2 – References*, IEEE Trans. on Reliability, Vol. 54, No. 3, Sept 2005, p 370-373

R. E. Odeh, D. B. Owen, *Parts Per Million Values for Estimating Quality Levels*. 1988; Marcel Dekker. [Factors for one-sided and two-sided tolerance limits for normal distributions.]

P. A. Tobias, O. Trindade, *Applied Reliability*, second edition 1995; Van Nostrand Reinhold. [Pages 81-104: Weibull and extreme-value distributions.]

TEAM, “Probability Plotting Techniques Revisited”, *Team Easy Analysis Methods*, vol. 6, no.1, Winter 1979. Technical and Engineering Aids for Management (TEAM), Box 25, Tamworth, NH 03886 USA.

W. Weibull, “A Statistical Distribution Function of Wide Applicability”, *Journal of Applied Mechanics*, September 1951, pp. 293-297. [The Weibull distribution]

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	29
INTRODUCTION.....	31
1 Domaine d'applicationt	33
2 Références normatives	33
3 Termes et définitions	33
4 Considérations générales	33
4.1 Généralités	33
4.2 Mécanismes de dégradation intrinsèque	33
4.3 Mécanismes de dégradation extrinsèque	33
4.4 Maîtrise de la dégradation extrinsèque	34
4.5 Effets des défaillances, modes de défaillance et mécanismes de défaillance (dégradation)	34
4.5.1 Généralités	34
4.5.2 Modes de défaillance	35
4.5.3 Mécanismes de dégradation	35
5 Méthodes d'essai et facteurs d'accélération.....	35
6 Protocole de base des essais de fiabilité des contacts et connecteurs	37
7 Statistiques sur la fiabilité.....	41
7.1 Méthode statistique de base d'estimation de la fiabilité par données de variables	41
7.2 Fiabilité du contact et fiabilité du connecteur.....	42
7.3 Estimation de la fiabilité des contacts/connecteurs en termes de MTTF/MTBF.....	44
8 Critères d'acceptation.....	44
9 Résumé et conclusions.....	45
Annexe A (informative) Détermination du facteur d'accélération de la relaxation pour les conditions d'un essai de chaleur sèche	46
Annexe B (informative) Utilisation des distributions des valeurs extrêmes pour estimer la fiabilité des connecteurs multicontacts.....	48
Bibliographie.....	54
Figure B.1 – Disposition des contacts dans un connecteur carré à 16 pôles.....	48
Figure B.2 – Valeurs ΔR les plus grandes: référence de variation maximale autorisée – 20 m Ω	49
Figure B.3 – Valeurs ΔR les plus grandes avec intervalle de confiance pour les estimations de fiabilité – Probabilité de la valeur extrême la plus grande avec un intervalle de confiance de 90 % – Taille de l'échantillon = 10.....	50
Figure B.4 – Valeurs ΔR les plus grandes avec intervalle de confiance pour les estimations de fiabilité – Probabilité de la valeur extrême la plus grande avec un intervalle de confiance de 90 % – Taille de l'échantillon = 5.....	51
Figure B.5 – Valeurs ΔR les plus grandes avec intervalle de confiance pour les estimations de fiabilité – Probabilité de la valeur extrême la plus grande avec un intervalle de confiance de 90 % – Taille de l'échantillon = 20.....	52

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ESTIMATION DE LA FIABILITÉ DES CONNECTEURS ÉLECTRIQUES**AVANT-PROPOS**

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

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

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

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

L'IEC TS 61586, qui est une spécification technique, a été établie par le comité d'études 48 de l'IEC: Connecteurs électriques et structures mécaniques pour les équipements électriques et électroniques.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1997. Cette édition constitue une révision technique.

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

- Un protocole de test «de base» spécifique est défini qui utilise un seul groupe de test soumettant les connecteurs à de multiples contraintes.
- Des informations supplémentaires sont fournies sur les facteurs d'accélération de test.
- Une discussion sur les limites de la fourniture des estimations MTTF / MTBF pour les connecteurs a été ajoutée.
- La bibliographie a été élargie.

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

Projet d'enquête	Rapport de vote
48/563/DTS	48/568/RVC

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

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2

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

- transformé en Norme internationale,
- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

IMPORTANT – Le logo "*colour inside*" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

INTRODUCTION

La fiabilité des ensembles électroniques dépend de celle des connexions électriques, composants passifs intercalés entre des composants actifs, aussi bien que de celle de ces composants eux-mêmes. Les connexions, et particulièrement les connecteurs, sont généralement perçus comme une cause importante de défaillances des ensembles électroniques, souvent du type panne inexplicée. La validité de cette perception n'est pas le sujet du présent document, mais la fiabilité des connecteurs électriques est source de préoccupation. L'attention croissante portée à la question de la fiabilité repose sur la question fondamentale de savoir comment déterminer de façon significative la fiabilité des contacts électriques et des connecteurs.

La définition de la fiabilité qui est adoptée dans le présent document est la suivante:

La probabilité pour qu'un produit assure une fonction spécifique dans des conditions de fonctionnement définies et pour une durée spécifiée.

La fiabilité est donc fonction des éléments suivants:

- a) la durée de vie attendue de la pièce;
- b) les contraintes d'application (électriques, thermiques, mécaniques, chimiques, etc.) auxquelles la pièce sera soumise au cours de sa durée de vie;
- c) les critères de défaillance spécifiés.

Ces facteurs étant différents pour chaque application qui fera usage du connecteur, un connecteur donné présentera une fiabilité différente pour chaque application dans laquelle il pourra être utilisé. Le fabricant d'un connecteur n'est donc pas en mesure de fournir une estimation de la fiabilité d'un contact ou d'un connecteur avant que le client ne lui ait fourni une description détaillée des facteurs indiqués plus haut pour l'application dans laquelle le connecteur sera utilisé. Pour fournir une estimation chiffrée de la fiabilité du connecteur, le fabricant devra donc utiliser les informations fournies par le client afin de développer un programme d'essais visant à simuler l'application prévue.

Le présent document examine certains facteurs dont la prise en compte est indispensable en ce qui concerne cette définition. La méthodologie d'évaluation de la fiabilité qui va être examinée consiste surtout en une analyse statistique appropriée des résultats d'essai, en considérant bien les points suivants.

- d) Identifier les mécanismes de dégradation en cause, et les ranger selon leur importance pour l'application considérée.
- e) Le cas échéant et dans la mesure du possible, déterminer les essais d'environnement appropriés pour chacun de ces mécanismes de dégradation, ainsi que les facteurs d'accélération et les durées d'exposition.
- f) Utiliser une séquence d'essais offrant l'opportunité d'une interaction entre les mécanismes de dégradation potentiels, car il est nécessaire de procéder à une simulation réaliste des effets de l'application envisagée.
- g) La méthode statistique d'estimation de la fiabilité à partir des résultats d'essai doit être appropriée.
- h) Etablir un critère d'acceptation approprié à l'application envisagée.

Les points d), e) et f) concernent l'aptitude du produit à continuer de remplir la fonction prévue, en présence des mécanismes de dégradation auxquels il est exposé dans son environnement de fonctionnement. En outre, il est essentiel d'appliquer un facteur d'accélération pour apprécier la durée de vie en fonctionnement du produit.

Le point g) est indispensable puisque la fiabilité est définie comme une probabilité, ce qui exige le traitement statistique des résultats appropriés.

Enfin, le point h) est une conséquence du fait que la fiabilité à évaluer est celle d'un produit remplissant une fonction définie.

Le niveau des connaissances et le degré de compréhension disponibles pour aborder ces différents points sont très variables. Chaque sujet est considéré dans un paragraphe distinct.

Il faut noter que plusieurs autres facteurs ont une influence sur la fiabilité des connecteurs. Nous citerons parmi ces facteurs:

- i) le procédé de fabrication du connecteur;
- j) les procédures d'assemblage ou de mise en œuvre de l'équipementier;
- k) les utilisations abusives ou inadéquates par l'utilisateur final.

L'importance de ces facteurs liés à la mise en œuvre, ou autres facteurs extrinsèques, ne peut être niée, car ils peuvent être déterminants pour la fiabilité des connecteurs. Néanmoins, ces facteurs extrinsèques sont éminemment variables et leur prise en compte est difficile dans toute estimation de la fiabilité. C'est pourquoi, le présent document est axé sur la fiabilité intrinsèque des connecteurs, c'est-à-dire la fiabilité de la conception et des matériaux du connecteur à proprement parler, telle qu'elle est évaluée par les procédures définies précédemment. Cette fiabilité intrinsèque représente la meilleure fiabilité possible du connecteur. Les facteurs extrinsèques se traduiront par une réduction de fiabilité.

Il faut également noter que, dans le présent document, la méthode d'estimation de la fiabilité est sensiblement différente de celle reposant sur un taux de défaillance élémentaire susceptible d'être modifié par des facteurs spécifiques à l'application, par exemple dans l'IEC 60863 ou le MIL Handbook 217.

Ces deux méthodes sont liées par le taux de défaillance élémentaire qui pourrait être déterminé, grâce à un traitement statistique différent, à partir des mêmes résultats qui servent à évaluer la fiabilité par la méthode qui va être présentée. Les essais d'environnement et leur durée détermineraient les conditions normales servant à définir le taux de défaillance élémentaire. En outre, les facteurs de réduction utilisés dans la méthode des taux de défaillance peuvent, en principe, se déduire des mêmes données servant à déterminer les facteurs d'accélération dans la méthode statistique proposée.

La méthode recommandée dans le présent document a pour avantage de définir explicitement les conditions normales, les critères d'acceptation et le traitement statistique pour l'application envisagée. Cela n'est pas le cas en partant d'un taux de défaillance élémentaire qui, le plus souvent, est mal défini et mal documenté.

ESTIMATION DE LA FIABILITÉ DES CONNECTEURS ÉLECTRIQUES

1 Domaine d'application

La présente spécification technique traite de l'estimation de la fiabilité inhérente à la conception des connecteurs électriques par la définition et le développement de programmes d'essais accélérés appropriés. Les mécanismes de dégradation intrinsèque élémentaire des connecteurs, qui sont liés au choix des matériaux et de la géométrie utilisés dans leur conception, sont examinés afin de fournir un contexte pour le développement des programmes d'essais souhaités. Bien que les mécanismes de dégradation extrinsèque puissent avoir des conséquences significatives sur les performances des connecteurs, ils divergent largement d'une application à l'autre; ils ne sont donc pas traités dans le présent document.

2 Références normatives

Il n'y a pas de références normatives dans ce document.

3 Termes et définitions

Il n'y a pas de termes et définitions dans ce document.

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

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

4 Considérations générales

4.1 Généralités

La dégradation qui entraîne la défaillance d'un contact ou d'un connecteur peut se produire de nombreuses façons. Pour notre propos, il est commode de diviser les mécanismes de dégradation en deux catégories, intrinsèque et extrinsèque.

4.2 Mécanismes de dégradation intrinsèque

Comme cela a été indiqué en introduction, les mécanismes de dégradation intrinsèque sont ceux liés à la conception et aux matériaux entrant dans la fabrication du contact ou du connecteur. Il s'agit par exemple de la corrosion, de la réduction de la force normale par relaxation, de l'échauffement excessif par effet Joule amenant une dégradation liée à la température.

4.3 Mécanismes de dégradation extrinsèque

Les mécanismes de dégradation extrinsèque sont liés à l'utilisation du contact ou du connecteur. Il s'agit par exemple de procédés de fabrication du connecteur mal maîtrisés, de processus d'assemblage inappropriés au cours de la fabrication de l'équipement, de contamination pendant la mise en œuvre, de dégradation due à l'emploi du connecteur en dehors de sa plage de températures assignées (température ambiante et température de l'enceinte) ou due à l'application de courants excédant la spécification du produit (tant en mode simple que réparti), et de sollicitation abusive du contact par l'utilisateur final par des

accouplements inappropriés (accouplements sous un angle excessif, traction sur le câble, etc.).

4.4 Maîtrise de la dégradation extrinsèque

Il est possible de maîtriser la dégradation extrinsèque en dotant le connecteur, dès sa conception, de caractéristiques réduisant les possibilités d'une telle dégradation, en veillant à ce que le fabricant du connecteur spécifie correctement les performances de son produit, et en veillant à ce que l'équipementier comme l'utilisateur final fassent un usage convenable des informations disponibles. Cette responsabilité partagée mérite d'être détaillée. Le fabricant du connecteur peut prévoir un arrêt de traction pour les câbles, un traitement de surface des contacts, des sertissages améliorés et d'autres dispositifs augmentant la robustesse face aux dégradations extrinsèques, mais ces mesures peuvent toujours être déjouées, en cas d'utilisation excessive ou inappropriée, par l'utilisateur. Le concept d'utilisateur désigne aussi bien l'équipementier que l'utilisateur final de l'équipement. Toutefois, les mécanismes de dégradation extrinsèque, de par leur variété et leur dépendance envers l'application, ne se prêtent pas facilement à l'analyse directe, à la modélisation ou à la simulation. Cette limitation rend problématique l'estimation des effets des mécanismes de dégradation extrinsèque sur la fiabilité des connecteurs, bien que, comme mentionné plus haut, ces types de mécanismes puissent influencer de façon majeure sur cette fiabilité en utilisation réelle.

C'est pourquoi, pour apprécier un système employant un connecteur et fournir une prévision initiale de sa fiabilité, il convient d'utiliser en premier lieu une estimation de la fiabilité du connecteur basée sur des essais effectués sur le connecteur isolément, conjointement avec des estimations de la fiabilité d'autres composants du système. Mais comme pour tout autre composant, le seul moyen de déterminer la fiabilité réelle du connecteur dans un système consiste à réaliser les essais appropriés sur le système dans lequel il est utilisé.

4.5 Effets des défaillances, modes de défaillance et mécanismes de défaillance (dégradation)

4.5.1 Généralités

Compte tenu des remarques précédentes, le présent document se limite à considérer un petit nombre d'aspects de la dégradation intrinsèque, afin de décrire une méthode d'appréciation de la fiabilité des connecteurs. A des fins de clarté, il est important de faire la distinction entre les effets d'une défaillance, les modes de défaillance et les mécanismes de défaillance (dégradation).

L'effet d'une défaillance est le problème spécifique que le client constatera lors du fonctionnement. Parmi les exemples spécifiques aux défaillances du contact et du connecteur figurent la perte de signal, la perte de puissance, la surchauffe/brûlure, le court-circuit, etc.

Un mode de défaillance est une description physique de la modification d'une pièce pouvant directement ou indirectement provoquer l'effet de défaillance observé par le client. Parmi les exemples de modes de défaillance spécifiques aux connecteurs ou aux contacts figurent une résistance élevée, une force normale réduite, une faible résistance d'isolement, etc.

Un mécanisme de défaillance ou de dégradation est le processus physique, chimique ou autre qui a causé le mode de défaillance.

Noter que, bien que le terme mécanisme de défaillance soit fréquemment utilisé, le terme mécanisme de dégradation constitue une description plus claire du phénomène en question. Un mécanisme de dégradation est susceptible de survenir souvent sans causer de défaillance si le niveau de dégradation reste en dessous d'un seuil critique. Dans le reste du présent document, le terme mécanisme de dégradation sera donc utilisé.

4.5.2 Modes de défaillance

Le présent document ne considère qu'un seul mode de défaillance, la variation de la résistance de contact, bien qu'il en existe bien d'autres, tant mécaniques (systèmes de verrouillage cassés, broches déformées, etc.) qu'électriques (diaphonie, courant de fuite entre contacts, etc.).

4.5.3 Mécanismes de dégradation

Trois mécanismes de dégradation intrinsèque sont considérés, bien compris et connus pour avoir une forte influence sur la stabilité de la résistance de contact:

- la corrosion,
- la relaxation des contraintes,
- l'usure du revêtement.

La corrosion de l'interface de contact provoque un accroissement de la résistance de contact dû à la formation de matériau non conducteur sur l'interface de contact. La relaxation entraîne une diminution de la force normale du contact qui, à son tour, peut augmenter la résistance de contact, soit directement, en cas de perte extrême de force normale, soit indirectement, par une sensibilité accrue à la dégradation mécanique ou par corrosion. L'usure du revêtement peut conduire à l'augmentation de la résistance de contact si cette usure atteint le support ou le matériau de base du contact, qui sont tous les deux plus sujets à la corrosion que les matériaux du revêtement de surface. Ces mécanismes de dégradation provoquent, en général, un accroissement de la résistance de contact. Le degré de dégradation acceptable avant que la fiabilité soit affectée dépend de l'application dans laquelle le connecteur est utilisé, et est donc qualifié d'application spécifique, comme nous le verrons ultérieurement. Ce qui nous intéresse en premier lieu, c'est qu'individuellement, ces mécanismes de dégradation peuvent provoquer peu, voire ne pas provoquer d'accroissement de la résistance. Pourtant, ils peuvent interagir et provoquer une défaillance du contact.

L'expérience sur le produit, ou sur des produits ou des applications similaires, nous permet de classer par catégories et par ordre d'importance les mécanismes de dégradation. Ces deux notions sont indispensables pour définir un programme d'essais approprié, et pour identifier, quand c'est possible, le document entre les conditions d'essai et la durée de vie et le fonctionnement sur site.

5 Méthodes d'essai et facteurs d'accélération

L'objectif des essais de fiabilité est de causer, sur les échantillons d'essai, des degrés de dégradation qui reflètent précisément les degrés de dégradation qui affecteront les pièces lors de leur utilisation dans l'application simulée. Une fois ces degrés de dégradation causés en soumettant les échantillons aux conditions d'essai spécifiées, il est possible d'apprécier les échantillons d'essai selon les critères de défaillance de l'application appropriée et d'estimer la fiabilité des pièces dans l'application simulée par l'essai. Pour être utiles, les essais doivent accélérer les degrés de dégradation de manière à ce que l'évaluation des performances exigée puisse être achevée dans un délai raisonnable. Pour connaître la durée d'application simulée par l'essai, il est nécessaire de connaître le facteur d'accélération utilisé lors de l'essai. Pour être concret, l'objectif est de pouvoir établir que X jours d'exposition aux conditions d'essai utilisées, qui peuvent activer un mécanisme de dégradation donné, sont équivalents à Y années de service dans les conditions de l'application envisagée. Le facteur d'accélération entre l'exposition à l'essai et l'exposition sur site correspond au temps sur site simulé par l'essai, divisé par le temps de l'essai. Noter qu'il est admis d'utiliser d'autres unités pour mesurer la durée de l'essai, notamment des cycles, à la place du temps, suivant le cas.

Malheureusement, il n'existe que peu d'essais appropriés aux contacts et aux connecteurs pour lesquels de tels facteurs d'accélération ont été développés ou déterminés. L'un de ces essais, celui du flux de mélange de gaz (MFG, Mixed Flowing Gas), sollicite le mécanisme de dégradation par corrosion et est principalement conçu pour être utilisé sur les contacts

équipés de systèmes de revêtement à base de métal noble. Des travaux visant à développer divers essais MFG ont été entrepris dans plusieurs laboratoires situés dans différents pays et apportent dans certains cas les données nécessaires permettant de déduire des facteurs d'accélération.

Une autre exposition à l'essai permet de déterminer des facteurs d'accélération; il s'agit de l'exposition à la chaleur sèche, également connue sous les termes durée de vie en température ou exposition au vieillissement thermique. Cet essai accélère le mécanisme de dégradation par relaxation. Des données de relaxation sont disponibles pour une grande variété d'alliages de cuivre utilisés dans les connecteurs. L'étude de ces données permettra de définir un facteur d'accélération pour les essais de durée de vie en température. Cependant, la relaxation n'est pas linéaire dans le temps. Ainsi, il n'est pas possible de déterminer le facteur d'accélération de l'essai, même d'après la température de fonctionnement de l'application et la température de l'essai spécifiée, car le facteur d'accélération varie à mesure que la durée de l'essai augmente. En conséquence de cette réponse non linéaire de la relaxation dans le temps, le fait d'augmenter la durée de l'essai par un facteur X n'augmentera pas la durée de vie simulée par l'essai par ce même facteur X. En fait, pour une température d'essai donnée, les petites augmentations de la durée de vie simulées par l'essai peuvent causer d'importantes augmentations de la durée exigée de l'essai. L'Annexe A informative fournit une méthode permettant de déterminer le facteur d'accélération pour les expositions à la chaleur sèche.

Un point important à noter en ce qui concerne les essais de relaxation est que la relaxation influe seulement sur la force normale des contacts et non pas directement sur la fiabilité telle qu'elle est évaluée par la stabilité de la résistance. Des études ont montré qu'une réduction importante de la relaxation, et donc de la force normale, pouvait survenir avec une variation minimale de la résistance. Les effets de la relaxation sur la fiabilité des contacts, telle qu'estimée par la stabilité de la résistance des contacts, doivent donc être évalués conjointement avec d'autres expositions à l'essai suivant une exposition de durée de vie en température. Par exemple, exposer des contacts accouplés à un essai de chaleur sèche, puis les exposer à un essai de vibrations pouvant provoquer un mouvement au niveau de l'interface de contact peut révéler une réduction de la stabilité de la résistance telle qu'elle serait attendue en cas d'utilisation réelle du contact, mais qui ne serait pas évidente avec l'utilisation du seul essai de chaleur sèche.

Parmi les autres essais appliqués aux contacts et connecteurs électriques mais pour lesquels aucun facteur d'accélération n'est généralement défini, figurent:

- les cycles de température avec humidité élevée, généralement utilisés pour évaluer les effets de la corrosion sur les contacts à revêtement non noble;
- les cycles d'accouplement et désaccouplement ou d'endurance utilisés pour évaluer les effets de l'usure;
- les essais de chocs et/ou de vibrations utilisés pour évaluer les effets de l'usure en général, la corrosion de contact des contacts à revêtement non noble et la corrosion de contact des contacts à revêtement noble sur lesquels le revêtement de surface en métal noble a été usé lors d'essais de vibrations ou d'autres essais tels que les cycles d'endurance effectués préalablement aux essais de vibrations;
- les essais de brouillard salin utilisés pour évaluer les effets de la corrosion sur les produits employés dans des environnements difficiles, par exemple dans les applications marine et automobile, dans lesquelles le connecteur est directement exposé à l'environnement extérieur.

Etant donné que ces essais ne disposent pas de facteurs d'accélération définis, lorsqu'ils sont utilisés isolément, ils indiquent uniquement les performances relatives des connecteurs. Les résultats obtenus indiquent seulement le comportement de la connectique soumise à ces essais. Ce ne sont pas des essais de fiabilité fournissant des résultats sur lesquels des estimations de comportement dans les conditions de fonctionnement pourront être établies. En revanche, ces essais peuvent être utilisés dans une séquence d'expositions à l'essai correctement conçue, comprenant également une exposition MFG et/ou une exposition à la

chaleur sèche visant à fournir une estimation pertinente de la fiabilité du contact et/ou du connecteur.

6 Protocole de base des essais de fiabilité des contacts et connecteurs

Les mécanismes de dégradation primaires en jeu lors de l'évaluation des variations de la résistance de contact peuvent survenir individuellement, sans avoir d'effet préjudiciable significatif sur la résistance de contact. Par exemple, la corrosion environnementale de la surface d'un contact peut créer des produits de corrosion autour de l'interface de contact. Mais étant donné que les points de contact microscopiques réels de métal à métal de l'interface sont essentiellement imperméables au gaz, les processus de corrosion qui surviennent dans la plupart des applications mettent beaucoup plus de temps que la durée de vie attendue des contacts avant de détruire ces points de contact et de causer une augmentation notable de la résistance. De la même manière, en ce qui concerne la relaxation, une diminution significative de la force normale du contact peut survenir sans augmentation significative de la résistance de contact. Lors de l'accouplement, pour créer une interface métal-métal propre présentant une faible résistance électrique, une force normale relativement élevée peut s'avérer nécessaire, en particulier pour les contacts à revêtement non noble. Cette force est nécessaire pour déplacer les oxydes et les autres matériaux non conducteurs qui peuvent s'être accumulés sur la surface du contact avant l'accouplement. Cependant, une fois que cette interface est créée, en l'absence de contraintes entraînant le déplacement de l'interface de contact, la force normale nécessaire pour maintenir l'interface de faible résistance est bien moindre que celle nécessaire pour créer initialement l'interface. Ainsi, si l'interface de contact ne bouge pas, la force normale peut être réduite de manière significative sans augmentation préjudiciable de la résistance. Etant donné que les mécanismes de dégradation primaires survenant sur les contacts ont, la plupart du temps, des effets limités lorsqu'ils surviennent individuellement, un contact bien conçu ne présentera généralement qu'une variation de résistance de quelques mΩ lors des essais, lorsqu'il sera soumis à des contraintes individuelles activant un mécanisme de dégradation unique.

Cependant, en utilisation réelle, les contacts sont soumis à des contraintes multiples qui peuvent activer simultanément tous les mécanismes de dégradation primaires. Ces contraintes peuvent en outre interagir directement et indirectement, de sorte qu'elles causent des variations de la résistance suffisamment importantes pour provoquer des défaillances dans les systèmes utilisant ces contacts. Par exemple, un environnement qui peut causer une corrosion minimale sur un contact neuf présentant un revêtement intact peut causer des degrés de corrosion significatifs si ce revêtement a subi une usure liée aux actions d'accouplement et de désaccouplement ou aux vibrations. En outre, le mouvement qui a endommagé le revêtement et ainsi permis la corrosion déplacera également la position du contact, en l'amenant potentiellement sur une position sur laquelle une corrosion est présente. Si, en plus de ces contraintes, une relaxation est survenue, causant ainsi une diminution de la force normale du contact, l'interface de contact présentera une stabilité mécanique réduite. En conséquence, les degrés de vibration et les cycles de température qui n'avaient peut-être pas entraîné de mouvement au niveau de l'interface lorsque le contact était neuf, peuvent à présent entraîner de tels mouvements. De plus, avec une force normale réduite, la capacité du contact à déplacer des matériaux non conducteurs tels que des produits de corrosion sera réduite. En outre, cette force normale réduite peut rendre le contact sensible à de petits mouvements cycliques (généralement de moins de 0,1 mm) lorsqu'il est soumis à des vibrations ou des cycles de température. Si ces mouvements concernent des interfaces à revêtement en métal non noble ou des interfaces à revêtement en métal noble sur lesquelles le métal non noble situé sous le revêtement ou le métal de base est exposé, le mécanisme de dégradation par corrosion de contact peut survenir et causer une augmentation de la résistance.

Etant donné que ce sont les interactions entre ces mécanismes de dégradation qui sont les plus susceptibles de causer des défaillances du contact, un protocole d'essai pertinent sur la fiabilité doit inclure des essais capables d'activer tous ces mécanismes sur les mêmes pièces et conjointement avec des conducteurs de mouvements potentiels de l'interface de contact. Il convient donc qu'un protocole d'essai de fiabilité de base inclue les éléments suivants:

- a) des essais de type essai de vibrations et cycles d'endurance pouvant endommager le revêtement;
- b) des essais tels que celui du flux de mélange de gaz (MFG) pour les contacts à revêtement en métal noble et des cycles de température avec humidité pour les contacts à revêtement en métal non noble, susceptibles de causer la corrosion. Les vibrations et les cycles de température peuvent également causer une corrosion de contact au niveau des contacts à revêtement non noble ou des contacts à revêtement noble dont le revêtement est endommagé;
- c) l'exposition à la chaleur sèche pour accélérer la relaxation et causer une diminution de la force normale;
- d) des essais de cycles de température, de chocs thermiques, de vibrations et de chocs mécaniques qui peuvent causer un mouvement au niveau de l'interface de contact.

D'autres expositions à l'essai peuvent être incluses selon les besoins, en fonction de l'application envisagée. Par exemple, il convient de soumettre à des courants cycliques les contacts de puissance parcourus par un courant suffisant pour provoquer des augmentations de température suffisantes pour accélérer plusieurs mécanismes de dégradation. Les contacts destinés à être utilisés dans des zones hautement exposées aux particules peuvent être soumis à des essais d'exposition aux poussières.

Pour chaque méthode d'essai incluse dans la séquence d'essais de fiabilité, il convient de choisir le niveau de contrainte appliqué et sa durée de manière à ce que l'exposition cause une dégradation égale à celle attendue lors de la durée de vie du produit dans l'application qui est envisagée. En d'autres termes, il convient qu'ils placent les éprouvettes en état de fin de vie. Il est donc souhaitable de disposer de facteurs d'accélération connus pour tous les essais utilisés. Mais, comme indiqué plus haut, seuls les essais de relaxation à chaleur sèche et certains essais de corrosion MFG sont associés à des facteurs d'accélération fiables. Heureusement, étant donné la manière dont les interfaces de contact réagissent à certaines contraintes, l'absence de facteurs d'accélération pour certains essais ne les empêche pas d'être utilisés dans des appréciations de fiabilité.

L'un des aspects les plus importants du comportement des interfaces de contact permettant la réalisation d'essais sans utiliser de facteurs d'accélération dans les essais de fiabilité réside dans le fait que la dégradation des contacts face à certaines contraintes n'est pas continue. En d'autres termes, certaines contraintes ne causent pas de modification de l'interface de contact tant qu'elles ne franchissent pas un certain seuil de sévérité. Qui plus est, une fois qu'ils franchissent un certain niveau de contrainte, ces mécanismes de dégradation surviennent alors très rapidement. Les cycles de température constituent un exemple de ce type de contrainte. Lorsque la température augmente et diminue, les composants du contact ou du connecteur sont soumis à une expansion ou une contraction qui exerce des forces mécaniques sur l'interface du contact. A moins que ces forces ne suffisent à maîtriser la force de frottement au niveau de l'interface, qui est fonction de la force normale et du coefficient de frottement entre les matériaux de la surface du contact, aucun mouvement et donc aucune dégradation ne se produiront. Mais si le niveau des cycles de température est tel qu'il cause un mouvement au niveau de l'interface d'un contact à revêtement non noble, une corrosion de contact surviendra et un nombre relativement faible de cycles d'essai présenteront une variation significative de la résistance, par exemple moins de 1 000 cycles pour les interfaces en étain et moins de 100 cycles pour les interfaces en nickel.

Les essais de vibrations se comportent de la même manière. Avec certains niveaux de domaine de fréquence, d'amplitude et/ou d'accélération, l'interface du contact ne subira aucun mouvement. Au-delà de ces niveaux, une fois le mouvement causé, des millions de cycles de mouvement surviennent souvent en moins d'une heure; ils peuvent causer une usure significative, voire une corrosion de contact en fonction du type de métal de l'interface de contact.

Lorsque ces types d'essais, qui ne causent aucune dégradation en deçà d'un certain niveau de contrainte puis peuvent potentiellement causer une dégradation rapide au-delà de ces niveaux, sont utilisés dans un programme d'essais de fiabilité, ils déterminent essentiellement

si les contraintes de l'application sont trop sévères pour cette conception de contact ou de connecteur. Pour cette raison, il est essentiel de s'assurer, lorsque ces essais sont utilisés, qu'ils ne dépassent pas sensiblement les contraintes de l'application envisagée.

Le cas échéant, ils peuvent causer, au niveau de l'interface de contact, des mouvements qui ne se produiront pas lors de l'utilisation réelle et entraîneront donc, lors des essais, des défaillances qui ne sont pas représentatives des performances qui surviendraient dans l'application.

Une autre catégorie d'essais qui ne disposent pas de facteur d'accélération mais peuvent tout de même être utilisés dans un programme d'essais de fiabilité comprend les essais qui peuvent être réalisés au même degré et au même taux de contrainte que l'application envisagée et qui placent également le produit dans un état de dégradation de fin de vie en un laps de temps raisonnable. Par exemple, les cycles d'accouplement et désaccouplement ou d'endurance appartiennent à cette catégorie d'essais. Un cycle d'accouplement et désaccouplement dans un essai est évidemment équivalent à un cycle d'accouplement et désaccouplement dans l'application. Ainsi, si au cours de la durée de vie d'un produit, 100 cycles d'endurance sont attendus, il est possible de réaliser un essai de fiabilité qui reproduit ces 100 cycles.

Il est donc possible de créer un programme d'essais de fiabilité valide en utilisant des tests qui disposent ou qui ne disposent pas de facteurs d'accélération, si ceux qui ne disposent pas de facteurs d'accélération connus entrent dans l'une des catégories décrites plus haut. En outre, comme précédemment expliqué, l'essai de fiabilité doit être conçu de manière à ce que les mécanismes de dégradation critiques soient en mesure d'interagir. Dans l'idéal, la conception devrait exciter tous les mécanismes de dégradation simultanément. Cela n'est pas possible dans la pratique. Les essais exigés présentent des conditions qui s'excluent mutuellement. Par exemple, les essais de corrosion MFG sont normalement exécutés à des températures situées entre 20 °C et 40 °C, alors que les essais de relaxation à chaleur sèche sont exécutés à des températures supérieures à 90 °C. C'est pour cette raison que les programmes d'essais de fiabilité des connecteurs doivent appliquer les contraintes exigées en utilisant une séquence d'exposition à l'essai. C'est là que la séquence selon laquelle les essais sont appliqués revêt toute son importance. Par exemple, au moins un essai de cycles d'endurance susceptible d'endommager le revêtement doit être réalisé avant que les essais de corrosion ne débutent, car dans son utilisation réelle, le revêtement peut être endommagé par les contraintes de corrosion.

D'après les points traités plus haut, il est possible de définir un protocole d'essai principal des contacts et des connecteurs pour apprécier la fiabilité en utilisant les variations de résistance comme critère de performances. Les essais principaux doivent placer les contacts en état de fin de vie pour les mécanismes de dégradation d'usure, de corrosion et de relaxation, puis soumettre les éprouvettes à des conducteurs de mouvement potentiels appropriés tels que les cycles de température et les vibrations. Pour un système de contact à revêtement en métal non noble, les essais principaux seront les suivants:

Cycles d'endurance: ils peuvent potentiellement provoquer des dommages ou une usure du revêtement, rendant ainsi le contact plus sensible aux essais de corrosion ultérieurs. En général, le nombre de cycles sera représentatif de celui attendu au cours de la durée de vie du produit dans l'application envisagée. Si le produit est destiné à subir des accouplements et désaccouplements réguliers au cours de sa durée de vie, les cycles d'essai pourront être réalisés par lots débutant avant, puis réalisés régulièrement au cours d'un essai de corrosion.

Chaleur sèche: cet essai causera une relaxation des contacts accouplés. Il est réalisé avant les essais de corrosion de contact tels que les cycles de température et les vibrations, car le mouvement de l'interface de contact qui cause la corrosion de contact sera davantage susceptible de survenir si la force normale du contact a été réduite en raison de la relaxation.

Cycles de température: cet essai peut causer un mouvement de l'interface entraînant une corrosion de contact. Pour les interfaces à revêtement en étain, 500 à 1 000 cycles seront

généralement nécessaires avant de constater les effets de la corrosion de contact. Les interfaces en nickel présentent généralement les effets de la corrosion de contact après 50 à 100 cycles. Comme noté précédemment, les extrêmes de température utilisés lors de l'essai peuvent être plus rigoureux que ceux de l'application envisagée, afin de fournir une marge de sécurité. Cependant, en définissant des conditions d'essai bien plus rigoureuses que celles de l'application, il y a un risque de provoquer un mouvement de l'interface et donc des défaillances qui ne sont pas représentatives des performances qui surviendront dans l'application.

Vibrations: cet essai peut causer un mouvement de l'interface entraînant une usure, une corrosion de contact ou les deux. Si le degré de vibrations cause un mouvement au niveau de l'interface, d'importantes variations de la résistance surviennent généralement en quelques heures (en général, en une à huit heures). Comme noté précédemment, la fréquence maximale et les niveaux d'amplitude/d'accélération utilisés lors des essais de vibrations peuvent être plus rigoureux que ceux de l'application envisagée, afin de fournir une marge de sécurité. Cependant, en définissant des conditions d'essai bien plus rigoureuses que celles de l'application, il y a un risque de provoquer un mouvement de l'interface et donc des défaillances qui ne sont pas représentatives des performances qui surviendront dans l'application simulée par l'essai. En outre, si les vibrations ne constituent pas une contrainte significative de l'environnement de l'application, il convient de ne pas inclure cet essai.

Pour un système de contact à revêtement en métal noble, les essais principaux seront les suivants:

Cycles d'endurance: ils peuvent potentiellement provoquer des dommages ou une usure du revêtement, rendant ainsi le contact plus sensible aux essais de corrosion ultérieurs. En général, le nombre de cycles sera représentatif de celui attendu au cours de la durée de vie du produit dans l'application envisagée. Si le produit est destiné à subir des accouplements et désaccouplements réguliers au cours de sa durée de vie, les cycles d'essai pourront être réalisés par lots débutant avant, puis réalisés régulièrement au cours d'un essai de corrosion.

Chaleur sèche: cet essai causera une relaxation des contacts accouplés. Il est réalisé avant les essais de corrosion de contact tels que les cycles de température et les vibrations, car le mouvement de l'interface de contact qui cause la corrosion de contact sera davantage susceptible de survenir si la force normale du contact a été réduite en raison de la relaxation. Noter que, d'une manière générale, les contacts à revêtement noble ne présentent une corrosion de contact que si le revêtement de surface a subi une usure exposant ainsi le sous-revêtement non noble, le cas échéant, ou le métal de base.

Flux de mélange de gaz: il peut causer une corrosion due à un revêtement de mauvaise qualité ou qui a été endommagé lors du montage, des cycles d'accouplement et de désaccouplement, etc. Il peut également causer une corrosion sur des zones qui ne contiennent pas de revêtement noble. Cette corrosion peut survenir tout près de la zone de contact ou peut se diffuser sur les surfaces non nobles ou sans revêtement de la zone avoisinant l'interface de contact. Des conducteurs de mouvement ultérieurs peuvent provoquer le glissement de l'interface de contact dans une zone de corrosion. Il convient de se demander si le connecteur est accouplé ou désaccouplé pendant une partie ou la totalité de l'exposition. De la même manière, si le connecteur est désaccouplé pendant une exposition quelle qu'elle soit, en général, une moitié de chaque paire du connecteur, la fiche ou la prise, sera exposée. Il convient de choisir la moitié désaccouplée destinée à l'exposition en fonction de l'application envisagée. Il peut s'agir par exemple d'un câble utilisé dans un poste de travail ou un serveur informatique, pour accueillir des périphériques futurs tels qu'un dispositif de stockage. Ce câble comprendrait plusieurs fiches inutilisées au départ, et qui resteraient donc désaccouplées pendant deux à cinq années de service dans le système, avant d'être accouplées à un nouveau dispositif de stockage. La prise du nouveau dispositif de stockage sera en état vierge. Donc, pour simuler cette application, la fiche utilisée sur le câble serait exposée, en état de désaccouplement, à un essai MFG pendant une durée simulant jusqu'à cinq années d'utilisation dans l'application envisagée. Elle serait ensuite accouplée à une prise non exposée et cette paire serait soumise à une exposition MFG supplémentaire pendant une durée simulant la durée de vie supplémentaire attendue de l'application envisagée.

Cycles de température: cet essai peut causer un mouvement de l'interface provoquant le glissement de l'interface de contact dans une zone de corrosion. Si le sous-revêtement non noble ou le métal de base du contact est exposé avant les cycles de température, une corrosion de contact peut survenir au cours de l'essai. Comme noté précédemment, les extrêmes de température utilisés lors de l'essai peuvent être plus rigoureux que ceux de l'application envisagée, afin de fournir une marge de sécurité. Cependant, en définissant des conditions d'essai bien plus rigoureuses que celles de l'application, cela peut provoquer un mouvement de l'interface et donc des défaillances qui ne sont pas représentatives des performances qui surviendront dans l'application.

Vibrations: cet essai peut causer un mouvement de l'interface provoquant le glissement de l'interface de contact dans une zone de corrosion. Si le sous-revêtement non noble ou le métal de base du contact est exposé avant cet essai, une corrosion de contact peut survenir au cours de l'essai. Si le degré de vibrations cause un mouvement au niveau de l'interface, d'importantes variations de la résistance surviennent généralement en quelques heures (en général, en une à huit heures). Comme noté précédemment, la fréquence maximale et les niveaux d'amplitude/d'accélération utilisés lors des essais de vibrations peuvent être plus rigoureux que ceux de l'application envisagée, afin de fournir une marge de sécurité.

Cependant, en définissant des conditions d'essai bien plus rigoureuses que celles de l'application, il y a un risque de provoquer un mouvement de l'interface et donc des défaillances qui ne sont pas représentatives des performances qui surviendront dans l'application. En outre, si les vibrations ne constituent pas une contrainte significative de l'environnement de l'application, il convient de ne pas inclure cet essai.

Outre les essais principaux inclus ci-dessus, d'autres essais peuvent être ajoutés, le cas échéant, pour l'application envisagée. Il peut s'agir notamment d'essais de contamination par poussières, de chocs thermiques, de chocs mécaniques, de cycles de courant électrique, etc. Une attention particulière doit être accordée au positionnement approprié de ces essais dans la séquence d'essais. Par exemple, si un essai d'exposition aux poussières doit être inclus, convient-il de le placer au début de la séquence d'essais, comme cela pourrait convenir à une pièce susceptible d'être désaccouplée pendant un certain temps dans une application avant d'être accouplée? Ou doit-il être inclus après l'accouplement mais avant d'autres contraintes, telles que les vibrations, une solution davantage susceptible de représenter un cas d'utilisation de pièces accouplées dès que le système dans lequel elles doivent être utilisées est monté? Une fois encore, le choix dépend de l'application envisagée pour laquelle le programme d'essais a été conçu.

Les protocoles décrits plus hauts servent de fondement à l'élaboration d'un programme d'essais de fiabilité d'un connecteur. Il est indispensable de comprendre pleinement le comportement des contacts et connecteurs d'un type de connecteur donné pour pouvoir déterminer les méthodes et conditions d'essai spécifiques à utiliser et l'ordre dans lequel il convient de les appliquer dans la séquence d'essais de fiabilité. Il est également nécessaire d'identifier les contraintes de l'application et de connaître leurs degrés.

7 Statistiques sur la fiabilité

7.1 Méthode statistique de base d'estimation de la fiabilité par données de variables

Le présent article est axé sur des prévisions de fiabilité des critères de défaillance basées sur des données de variables, c'est-à-dire des données pour des critères de performances consistant en des valeurs quantifiables, telles que la résistance de contact, l'échauffement, la force d'accouplement, etc. Les données de variables présentent des distributions auxquelles il est possible d'appliquer divers traitements statistiques.

Les critères de défaillance basés sur des données d'attribut, c'est-à-dire des données qui ne représentent pas une valeur quantifiable mais se composent d'énoncés simples tels que bon/pas bon ou acceptation/rejet ne seront pas traités dans le présent document. Les données d'attribut comprennent des critères tels que la discontinuité électrique intermittente, la rupture d'un mécanisme de verrouillage, etc. Le traitement statistique des données

d'attribut est plutôt limité et les échantillons doivent être volumineux pour fournir des conclusions fiables. En outre, étant donné la petite taille des échantillons généralement utilisés lors des essais, dans la plupart des cas, lorsque des défaillances de ce type surviennent sur un contact ou un connecteur, une seule défaillance du produit indique normalement un niveau de fiabilité inacceptable de celui-ci. Aucune estimation de la fiabilité n'est donc exigée.

Comme expliqué plus haut, le programme d'essais de fiabilité d'un connecteur soumet les pièces à une séquence de contraintes environnementales, mécaniques, électriques et parfois d'un autre ordre, dans le but de créer un degré de dégradation des pièces similaire à celui qui surviendra à la fin de vie simulée par la séquence d'essais. Une fois cet état de fin de vie atteint, des mesures du facteur de performance souhaité sont effectuées, par exemple la résistance de contact, la force de l'accouplement, l'échauffement à un courant spécifique, etc. Ces données peuvent ensuite être analysées à l'aide de diverses techniques statistiques, pour un critère de défaillance défini, afin de déterminer la probabilité, pour une pièce donnée, de fonctionner sans défaillance pendant la durée de vie qui a été simulée par les essais réalisés. Cette probabilité représente la fiabilité des pièces.

Aucune explication détaillée de l'utilisation des données des essais de fiabilité permettant de fournir une estimation de la fiabilité d'un produit n'est fournie ici. Ces techniques ne sont pas spécifiques à la fiabilité des connecteurs et ont été largement traitées dans des textes sur le thème de la fiabilité, ainsi que dans certaines normes IEC, par exemple l'IEC 61709. En outre, l'analyse spécifique exigée diffère en fonction des caractéristiques des données analysées et toute explication complète sur ce thème dépasse le cadre du présent document. Il contient toutefois une vue d'ensemble des étapes de base.

Le processus fondamental d'estimation de la fiabilité d'un produit à partir de données d'essai appropriées exige de commencer par ajuster ces données à un modèle de distribution doté de caractéristiques connues. Il convient que la distribution soit connue pour être représentative de données se comportant bien pour le type analysé. Par exemple, des données de résistance de contact et de variation de la résistance qui se comportent bien présentent généralement une distribution normale ou log-normale. Une fois les données ajustées à une distribution appropriée, les caractéristiques de cette distribution sont utilisées pour estimer la gamme de performances attendues pour la population complète de pièces, au-delà du petit nombre de pièces effectivement soumises à essai. Ces estimations doivent également comprendre un ajustement basé sur un facteur de tolérance. Ce facteur sera fonction de la taille de l'échantillon, du niveau de confiance requis et du niveau de fiabilité estimé.

7.2 Fiabilité du contact et fiabilité du connecteur

Pour choisir la distribution qui pourra se révéler appropriée pour décrire les données et donc l'utiliser comme base permettant d'estimer la fiabilité du produit, il faut porter une attention toute particulière à l'estimation de la fiabilité des contacts individuels par rapport à l'estimation de la fiabilité d'un connecteur équipé de plusieurs contacts. Dans le cas d'un connecteur multicontact, il est généralement considéré que le connecteur est défaillant si l'un de ses contacts présente une défaillance. Si tous les contacts du connecteur ont répondu de manière statistiquement identique aux contraintes appliquées, c'est-à-dire si leur position à l'intérieur du connecteur n'a aucune conséquence sur leurs performances, la fiabilité du connecteur sera simplement la fiabilité estimée du contact individuel, élevée à une puissance égale au nombre de positions de contact du connecteur, comme l'indique la formule ci-dessous:

$$R = r^n$$

où:

R est la fiabilité du connecteur;

r est la fiabilité du contact individuel;

n est le nombre de positions de contact.

Il est important d'employer des techniques statistiques appropriées pour confirmer que les performances du contact sont véritablement indépendantes de sa position dans le boîtier du connecteur avant d'utiliser ces données comme bases d'estimation de la fiabilité du connecteur. En fait, dans de nombreux cas, les effets liés à la position du contact dans le connecteur sont susceptibles de causer des réactions différentes aux contraintes appliquées au connecteur. Un exemple de cet effet est la dégradation du contact causée par l'échauffement qui survient lorsqu'un courant est appliqué. Dans un connecteur multicontact, pour un même courant appliqué, les contacts qui sont placés le long des parois extérieures dissipent la chaleur générée à l'intérieur beaucoup plus efficacement que ceux qui se trouvent au centre du connecteur. Ainsi, les contacts extérieurs fonctionnent à une température moins élevée que les contacts intérieurs. Ceci influe sur le taux de certains mécanismes de dégradation, par exemple la relaxation, et induit un taux de dégradation plus lent des contacts extérieurs en comparaison avec le taux applicable aux contacts intérieurs, fonctionnant à une température plus élevée.

La position des contacts dans le boîtier du connecteur peut avoir une influence significative sur les taux de corrosion. Les contacts à revêtement en métal noble placés le long des parois extérieures des connecteurs équipés d'au moins trois rangées de contact peuvent présenter des taux de corrosion environnementale plus rapides, en particulier si le connecteur est exposé à des gaz polluants en configuration désaccouplée. Les contacts à revêtement en métal non noble peuvent être plus sensibles à la corrosion de contact sur certaines positions dans les connecteurs, en raison de la manière dont le boîtier réagit aux vibrations, aux chocs mécaniques, aux cycles de température et aux chocs thermiques. En outre, l'usure du revêtement due à plusieurs contraintes, telles que les cycles d'accouplement et de désaccouplement, les vibrations, les chocs mécaniques, les cycles de température, les chocs thermiques, etc., peut être variable selon les positions du connecteur et conduit à des taux de corrosion accrus pour les contacts dont l'usure est la plus importante.

D'après ce qui précède, l'estimation de la fiabilité du connecteur, plutôt que celle du contact, doit la plupart du temps être effectuée selon deux hypothèses qui s'avèrent vraies dans la majorité des cas:

- la défaillance d'un contact quel qu'il soit dans un connecteur constitue une défaillance du connecteur;
- le comportement des contacts est influencé par la position qu'ils occupent dans le connecteur.

L'un des effets de ces hypothèses est que la fiabilité des connecteurs sera dominée par les performances des contacts placés sur les positions qui présentent généralement le degré de dégradation le plus important. Ainsi, l'estimation de fiabilité des connecteurs par données de variables ne sera pas basée sur les données de performances de tous les contacts du connecteur. Au lieu de cela, l'estimation sera basée sur un sous-ensemble de ces données. Ce sous-ensemble se composera des mesures concernant le contact le moins performant de chaque connecteur soumis à essai. Prenons par exemple un essai réalisé sur 10 connecteurs, équipés chacun de 20 contacts. Si la mesure des performances appropriée est l'augmentation de la résistance de contact, 200 mesures de résistance de contact seraient alors effectuées à chaque intervalle de mesure. Cependant, lorsque l'objectif consiste à estimer la fiabilité du connecteur, l'ensemble de données à analyser contiendrait 10 valeurs composées des mesures concernant les contacts présentant la plus forte augmentation de résistance de chaque connecteur.

Un autre effet des hypothèses énoncées précédemment est que le sous-ensemble de données utilisé pour l'estimation ne sera pas bien caractérisé par des distributions types telles que les distributions normales et log-normales. Les valeurs analysées étant les valeurs les plus défavorables (les plus faibles ou les plus élevées) de chaque connecteur, elles représentent uniquement les parties extrêmes des distributions de la population de tous les contacts parmi lesquels elles ont été sélectionnées. C'est pourquoi un ensemble de données composé de valeurs individuelles extrêmes provenant de chacune des diverses éprouvettes qui ont fourni plusieurs mesures est généralement mieux apprécié par une distribution des valeurs extrêmes appropriée. L'Annexe B donne un exemple d'emploi de cette méthode.

7.3 Estimation de la fiabilité des contacts/connecteurs en termes de MTTF/MTBF

Il est courant d'exprimer la fiabilité en termes de durée moyenne de fonctionnement avant défaillance (MTTF, Mean Time To Failure) dans le cas de dispositifs non réparables, ou de moyenne de temps de bon fonctionnement (MTBF, Mean Time Between Failures) dans le cas de dispositifs réparables. Ces valeurs sont souvent interprétées par erreur comme des indicateurs de la durée de fonctionnement à partir de laquelle il peut être attendu que la moitié des pièces ait présenté une défaillance, représentant ainsi la durée de vie pour une fiabilité de 50 %. Pourtant, la fiabilité réelle à l'atteinte de la MTTF ou de la MTBF dépend de la distribution du temps de fonctionnement avant défaillance du produit dans certaines applications. Si cette distribution est symétrique, alors 50 % du produit présentera une défaillance avant d'atteindre la MTTF ou la MTBF. En revanche, si la distribution du temps de fonctionnement avant défaillance n'est pas symétrique, alors la fiabilité à l'atteinte de la MTTF ou de la MTBF pourra être supérieure ou inférieure à 50 %, en fonction de la forme adoptée par la distribution du temps de fonctionnement avant défaillance. Par exemple, la distribution du temps de fonctionnement avant défaillance d'un produit qui présente un taux de défaillance constant sera exponentielle; en conséquence, environ 63 % du produit présentera une défaillance avant la MTTF ou la MTBF. Dans un tel cas, la fiabilité à l'atteinte de la MTTF ou de la MTBF sera de 37 % seulement.

Pour pouvoir définir la distribution du temps de fonctionnement avant défaillance dans un essai de fiabilité, il est nécessaire de disposer de données documentant la durée d'exposition à l'essai à laquelle chaque défaillance s'est produite. Si la défaillance résulte de l'interaction entre plusieurs contraintes, pour recueillir les informations nécessaires à la définition de la distribution du temps de fonctionnement avant défaillance, il faut que l'essai puisse créer simultanément toutes les contraintes nécessaires à la même fréquence accélérée. Comme expliqué précédemment, il n'est pas possible de réaliser un tel essai de fiabilité sur des contacts électriques. Ainsi, d'une manière générale, il n'est pas possible de caractériser la distribution du temps de fonctionnement avant défaillance de la durée de vie attendue en utilisant les résultats des essais de fiabilité d'un connecteur. Ceci empêche de fournir une estimation de la MTTF ou de la MTBF, à moins de formuler une hypothèse quant à la distribution du temps de fonctionnement avant défaillance caractéristique du produit.

8 Critères d'acceptation

Tout essai de fiabilité pose la question critique de savoir quel critère d'acceptation utiliser dans le calcul de la fiabilité du contact. Deux cas sont possibles: la spécification du produit, ou une valeur propre à l'application. En ce qui concerne les essais de fiabilité, les critères de spécification du produit ne constituent **pas** un choix approprié. Les valeurs de spécification du produit incluent un aspect de fiabilité, en ce sens que le fabricant a soumis à essai la conception du produit pour garantir les valeurs spécifiées dans les conditions d'essai mentionnées dans la spécification du produit ou dans une catégorie générale d'applications. Les conditions réelles de l'application sont généralement inconnues. Cela se vérifie en particulier pour les contacts et les connecteurs qui sont adaptés à de nombreuses applications et qui peuvent être soumis à différentes conditions et à différents critères d'acceptation, même sur un même système. Pour tenir compte de ces facteurs inconnus, la valeur figurant dans la spécification du produit inclut un facteur de sécurité et d'incertitude technique. En d'autres termes, les critères d'acceptation de la spécification d'un connecteur nécessitent généralement des performances supérieures à celles requises pour la plupart des applications dans lesquelles il sera utilisé.

Au contraire, pour une application particulière, un utilisateur aura défini une valeur, telle que la résistance de contact maximale à partir de laquelle le système cesse de fonctionner correctement. Dans l'exemple de la résistance de contact, cette valeur peut être supérieure à 100 mΩ dans une application de type signal ou être inférieure à 0,5 mΩ pour un contact à courant élevé. Le critère d'acceptation, qui doit être connu au moment de déterminer une estimation de la fiabilité, doit donc être basé sur la valeur spécifique à l'application et non sur la valeur de spécification du produit. Il convient donc, pour cette application particulière, que

l'exigence sur la limite de confiance statistique et sur la fiabilité ait comme limite d'acceptation le critère d'acceptation spécifique à cette application.

Concrètement, la valeur du critère d'acceptation correct à utiliser pour estimer la fiabilité d'un contact ou d'un connecteur est la valeur maximale ou minimale qui peut être tolérée sans défaillance dans l'application réelle pour laquelle l'estimation de fiabilité est développée. Les critères d'acceptation de la spécification du produit, qui sont généralement les plus rigoureux, ne sont ni requis ni appropriés dans un programme d'essais de fiabilité, car, dans un tel programme, les conditions et les exigences de l'application ont été définies, ce qui élimine largement le facteur de sécurité et d'incertitude technique.

9 Résumé et conclusions

Plusieurs méthodes d'estimation de la fiabilité des contacts et des connecteurs électriques ont été présentées. Il existe au moins deux raisons pour lesquelles l'estimation de la fiabilité des connecteurs est une affaire complexe. En premier lieu, les mécanismes de dégradation extrinsèque ou liée à l'application, qui peuvent être les facteurs clés de cette fiabilité, sont très variables et difficiles à identifier et à quantifier. En second lieu, les mécanismes de dégradation intrinsèque, qui définissent la fiabilité fondamentale d'un connecteur donné, défini par sa conception et par ses matériaux de fabrication, exigent de définir un facteur d'accélération pour relier l'exposition en laboratoire à la durée de vie dans l'application. Un tel facteur ne peut être déterminé pour de nombreux mécanismes possibles de dégradation. Face à ces limitations, un programme d'estimation de fiabilité qui en tient compte est proposé. La méthode recommandée comporte l'analyse statistique des résultats d'essai, et considère les mécanismes de dégradation en cause, la détermination d'essais d'environnement appropriés avec les facteurs d'accélération et les durées d'exposition correspondants, les analyses statistiques appropriées aux résultats d'essai, ainsi que l'établissement des critères d'acceptation appropriés. Chacun de ces points a été traité séparément. Pour finir, le cas des connecteurs multicontacts a été traité.

Le programme d'estimation de fiabilité qui est recommandé comprend les éléments suivants.

- a) Déterminer un critère d'acceptation propre à l'application pour la résistance de contact. Un critère est également exigé pour tout autre facteur de performance à inclure dans le programme.
- b) Développer un programme d'essais visant les mécanismes de dégradation attendus pour cette application. Il convient que le programme applique plusieurs contraintes à des groupes de pièces uniques pour permettre l'interaction de mécanismes de dégradation, tel que cela se produira dans les applications réelles.
- c) Etablir des facteurs d'accélération, si possible, pour les essais spécifiés. Si aucun facteur d'accélération ne peut être défini, aucune valeur de fiabilité ne peut être avancée, puisqu'il n'est pas possible de déterminer la durée de vie en fonctionnement qui est simulée par l'exposition à l'essai. Cependant, pour les contraintes destinées en premier lieu à produire potentiellement un mouvement du contact, aucun facteur d'accélération n'est requis.
- d) Choisir, selon le programme d'estimation de la fiabilité, le traitement statistique convenable pour les données.
- e) Estimer la fiabilité du composant.

Toutes ces considérations font appel au plus haut point au bon sens technique. Il convient d'obtenir l'accord, tant du fabricant du connecteur que de l'utilisateur, sur le contenu et les méthodes à spécifier pour ces points en particulier, et sur le programme d'estimation de la fiabilité en général, afin de garantir que les résultats obtenus s'appliquent bien à l'application considérée.

Annexe A (informative)

Détermination du facteur d'accélération de la relaxation pour les conditions d'un essai de chaleur sèche

La relation de Larson-Miller constitue une méthode courante pour déterminer le facteur d'accélération des essais de relaxation. La relation de Larson-Miller est dérivée de la relation empirique d'Arrhénius, un modèle utilisé pour estimer les effets de plusieurs mécanismes de dégradation dépendants de la température, y compris la relaxation.

La formule de la relation empirique d'Arrhénius est la suivante:

$$t = A \exp[E / (kT)]$$

Lorsque cette relation est appliquée à la relaxation:

- t est le temps, en heures, nécessaire pour atteindre un niveau spécifique de relaxation;
- A est une constante spécifique au métal concerné;
- E est l'énergie d'excitation spécifique au métal concerné;
- k est la constante de Boltzmann;
- T est la température absolue ou Kelvin à laquelle la pièce est exposée.

La relation de Larson-Miller dérivée de la relation empirique d'Arrhénius est la suivante:

$$LM = T [C + \log(t)]$$

Où:

- LM est le paramètre de Larson-Miller;
- C est la constante d'un matériau (elle est égale au logarithme naturel négatif de la constante A issue de la relation d'Arrhénius).

Pour un matériau et un mécanisme de dégradation donnés, modélisés par la relation empirique d'Arrhénius, toute combinaison de temps et d'exposition à une température produisant une valeur spécifiée pour le paramètre de Larson-Miller produira le même degré de dégradation. Ainsi, pour une durée de vie spécifiée à une température de fonctionnement spécifiée et connaissant la constante C d'un matériau, il est possible de calculer le paramètre LM d'un contact dans l'application particulière. Tout essai de vieillissement par la température destiné à produire la même relaxation sur la pièce doit alors présenter une combinaison de temps et de température qui produira la même valeur LM. Cela permet ensuite de déterminer le facteur d'accélération de l'essai de la manière suivante:

$$LM_o = T_o [C + \log(t_o)]$$

Où:

- LM_o est le paramètre LM pour les conditions de l'application;
- T_o est la température absolue ou Kelvin de l'application;
- t_o est la durée de vie en heures à la température de fonctionnement de l'application.

$$LM_t = T_t [C + \log(t_t)]$$

Où:

- LM_t est le paramètre LM pour les conditions de l'essai;
- T_t est la température absolue ou Kelvin de l'exposition à l'essai;
- t_t est la durée d'exposition à l'essai en heures.

Comme noté précédemment, pour que l'essai reproduise la relaxation attendue dans l'application réelle, les valeurs LM de l'application et de l'essai doivent être égales. Ainsi:

$$LM_o = LM_t$$

$$T_o [C + \log(t_o)] = T_t [C + \log(t_t)]$$

Donc, la relation entre la durée de l'essai, t_t , et la durée de vie en fonctionnement, t_o , est la suivante:

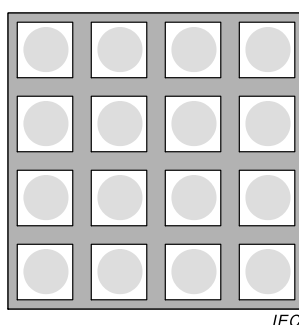
$$t_t = 10^{\{(T_o / T_t) (C + \log(t_o))\} - C}$$

Cette formule montre ainsi qu'il existe une relation non linéaire entre la durée de l'essai et le temps de fonctionnement pour une combinaison donnée de températures de fonctionnement et d'essai. Ainsi, le facteur d'accélération, défini comme t_o / t_t , évolue à mesure que le temps de fonctionnement à simuler varie. Ceci se vérifie également si la température d'essai est modifiée.

Annexe B (informative)

Utilisation des distributions des valeurs extrêmes pour estimer la fiabilité des connecteurs multicontacts

Comme expliqué en 7.2, la position d'un contact dans un connecteur multicontact peut influencer sur sa réponse à plusieurs contraintes environnementales, mécaniques et électriques. Ainsi, dans un connecteur individuel, il n'est pas possible de considérer que des mesures telles que la résistance, les variations de température dues à l'application d'un courant, etc., représentent, pour des contacts individuels, des mesures prises au sein d'une population de contacts homogène, même si les contacts sont de fabrication identique. Prenons l'exemple d'un connecteur composé de quatre rangées chacune dotée de 4 contacts disposés comme représenté à la Figure B.1.



IEC

Figure B.1 – Disposition des contacts dans un connecteur carré à 16 pôles

Si tous les contacts étaient alimentés simultanément avec la même intensité de courant, les quatre contacts placés au centre seraient supposés présenter le plus fort échauffement, car leur capacité à dissiper la chaleur est limitée de tous les côtés, à la fois par la plus grande distance qui les sépare de la paroi extérieure du connecteur et par le fait qu'ils sont chacun entourés de huit autres contacts produisant également de la chaleur. Les contacts placés aux quatre coins seraient supposés présenter l'échauffement le plus faible, car ils peuvent aisément dissiper la chaleur directement dans l'environnement par deux de leurs parois et sont influencés par l'échauffement de seulement trois contacts voisins. Les huit autres contacts seraient supposés présenter des échauffements proches de ceux des contacts placés au centre, car ils peuvent dissiper la chaleur directement dans l'environnement d'un côté seulement et sont entourés de cinq autres contacts produisant de la chaleur.

Etant donné les effets liés à la position tels que ceux fournis dans cet exemple, les échauffements constatés sur les seize contacts ne représentent pas une population unique. Il s'agit plutôt de trois populations potentiellement distinctes. Finalement, la fiabilité du connecteur sera dominée par les performances des contacts qui présentent le comportement le plus extrême. Ainsi, il convient d'utiliser un sous-groupe de données uniquement constitué de la valeur la plus haute ou la plus basse mesurée sur chaque connecteur pour estimer la fiabilité du connecteur. Il sera choisi d'utiliser les valeurs les plus élevées ou les plus basses selon que la défaillance se produit en raison d'une mesure des performances supérieure à un certain critère (par exemple la résistance maximale autorisée) ou que la défaillance se produit en raison d'une mesure des performances inférieure à une valeur souhaitée (par exemple la force de désaccouplement minimale requise). Comme indiqué en 7.2, étant donné que les données utilisées pour estimer la fiabilité du connecteur sont uniquement les valeurs les plus élevées ou les plus basses de chaque connecteur, elles sont généralement mieux modélisées par une distribution des valeurs extrêmes les plus petites ou les plus grandes.

Cet exemple d'utilisation d'une distribution des valeurs extrêmes les plus grandes pour estimer la fiabilité d'un connecteur emploie les données suivantes, générées de manière

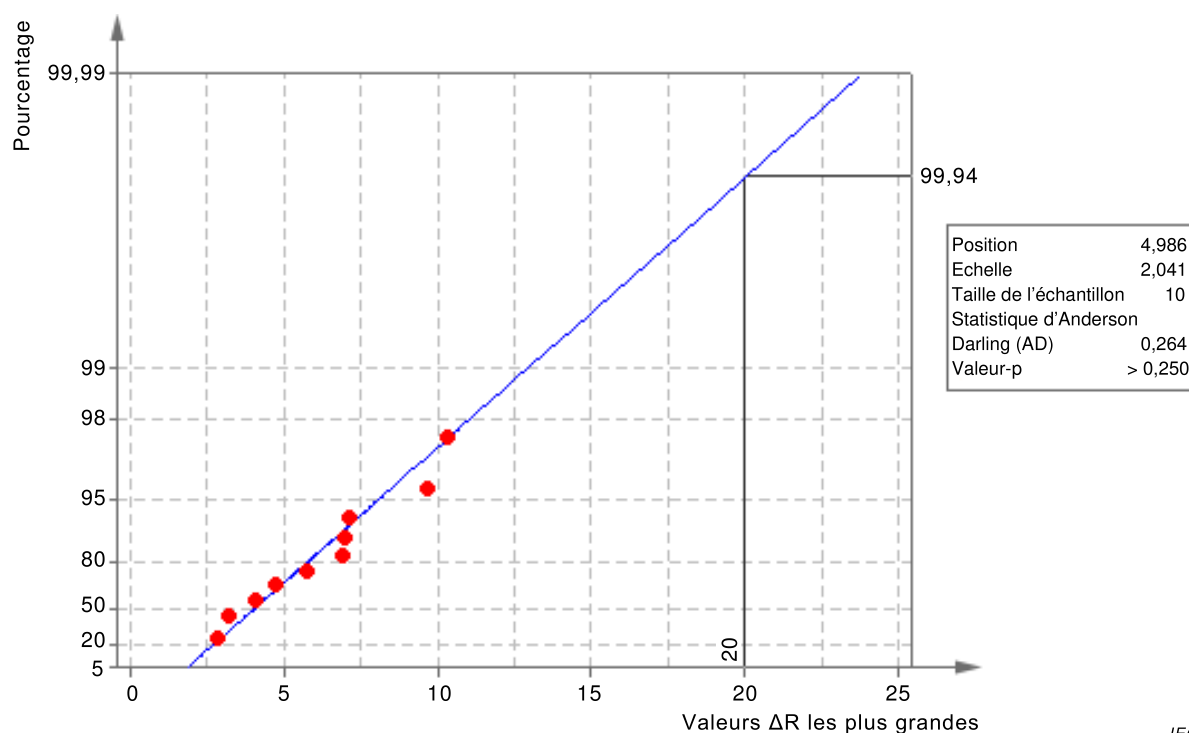
aléatoire à l'aide d'une distribution des valeurs extrêmes les plus grandes avec un facteur de position de 5 et un facteur d'échelle de 2.

2,802, 3,209, 4,043, 4,376, 5,752, 6,917, 7,002, 7,097, 9,639, 10,319

Supposons que ces données représentent la plus grande variation des valeurs de résistance pour chacun des dix connecteurs multicontacts. D'après ces données, la question suivante peut être posée: «le connecteur présentera-t-il une fiabilité minimale de 99,9 % pour une variation de résistance en durée de vie maximale autorisée de 20 mΩ?» Posée en d'autres termes, la question est la suivante: «est-ce que moins de 1 connecteur sur 1 000 contiendra un contact présentant une variation de résistance supérieure à 20 mΩ à la fin de la durée de vie simulée par le programme d'essais de fiabilité?»

Sur le diagramme suivant (Figure B.2), ces données sont tracées en supposant qu'elles sont ajustées à une distribution des valeurs extrêmes les plus grandes.

Valeurs de résistance delta les plus grandes: référence de variation maximale autorisée – 20 milliohms
Distribution des valeurs extrêmes les plus grandes



IEC

Figure B.2 – Valeurs ΔR les plus grandes: référence de variation maximale autorisée – 20 mΩ

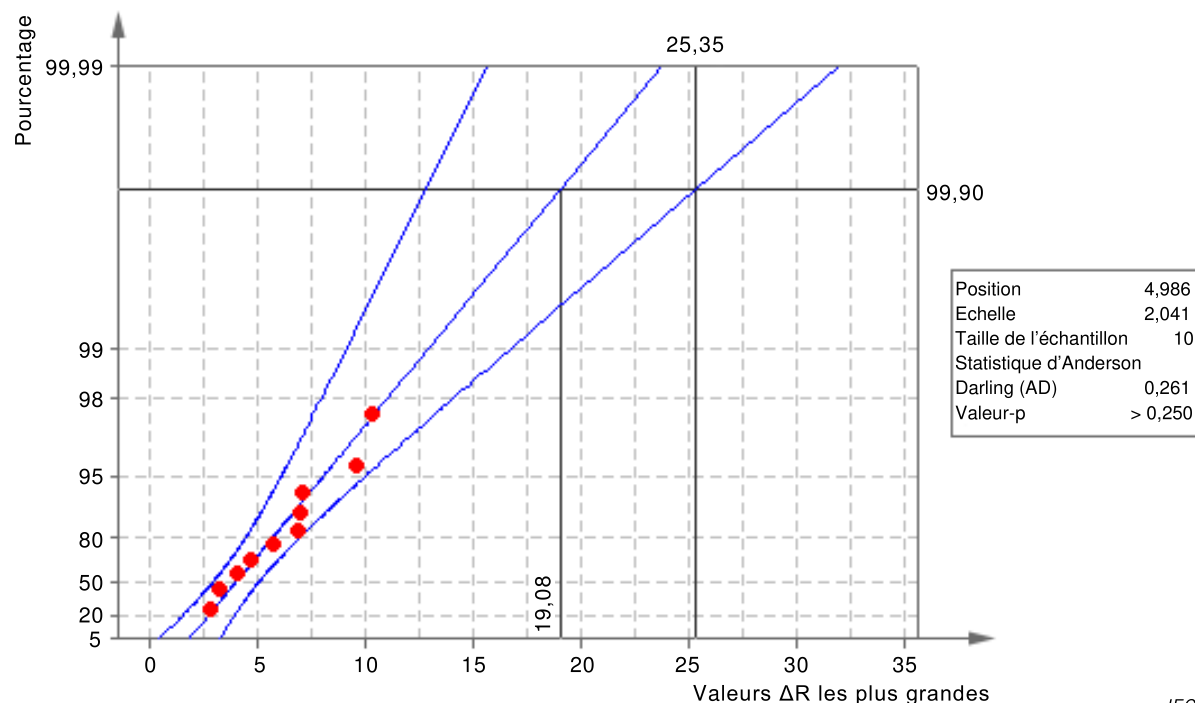
La meilleure estimation de la fiabilité pour un critère de défaillance de 20 mΩ est égale à 99,94 %. En d'autres termes, il est estimé que 6 des 10 000 connecteurs utilisés dans l'application présenteront une défaillance, c'est-à-dire qu'au moins un de leurs contacts présentera une variation de la résistance supérieure à 20 mΩ avant la fin de vie. Cette valeur dépasse la fiabilité requise de 99,9 %.

Il faut cependant tenir compte de l'incertitude statistique de l'estimation. Etant donné la taille de l'échantillon, petite mais typique, de 10 valeurs de mesure, cette incertitude est relativement importante. Le diagramme ci-dessous (Figure B.3) est similaire à celui présenté

plus haut, mais l'incertitude au niveau de la variation réelle des valeurs de résistance pour un niveau de fiabilité donné est représentée par les deux lignes extérieures.

Valeurs de résistance delta les plus grandes avec intervalle de confiance pour les estimations de fiabilité

Probabilité de la valeur extrême la plus grande avec un intervalle de confiance de 90 %



IEC

Figure B.3 – Valeurs ΔR les plus grandes avec intervalle de confiance pour les estimations de fiabilité – Probabilité de la valeur extrême la plus grande avec un intervalle de confiance de 90 % – Taille de l'échantillon = 10

Tandis que la ligne du centre indique la meilleure estimation de la variation de résistance à un niveau de fiabilité donné, les lignes extérieures représentent un intervalle de confiance, c'est-à-dire une plage de valeurs de résistance delta, présentant une probabilité donnée (90 % dans cet exemple) de contenir la valeur vraie de fiabilité de 99,9 %. Pour les données utilisées dans cet exemple, la meilleure estimation d'une fiabilité de 99,9 % est un critère de défaillance autorisant une variation maximale de la résistance de 19,08 mΩ. Cependant, il existe une probabilité de 90 % que la valeur vraie d'une variation maximale autorisée de la résistance compatible avec une fiabilité de 99,9 % se situe entre les points auxquels la ligne de référence à 99,9 % croise les limites inférieure et supérieure de l'intervalle de confiance de 90 %. Cette plage se situe entre 12,81 (non représenté sur le diagramme) et 25,35 mΩ. Il existe une probabilité de 5 % pour que la valeur vraie soit inférieure à 12,81 mΩ et une probabilité de 5 % pour que la valeur vraie soit supérieure à 25,35 mΩ.

Dans la plupart des cas, le problème se situe à la limite de confiance supérieure ou inférieure. Dans ce cas, la défaillance étant la conséquence du dépassement d'une variation donnée de la valeur de résistance, le problème concerne la limite supérieure. Il est donc possible d'affirmer, d'après les données analysées dans cet exemple, qu'à un niveau de confiance de 95 %, le produit atteindra une fiabilité de 99,9 % pour un critère de défaillance correspondant à une variation de résistance maximale de 25,35 mΩ. Ce niveau de confiance de 95 % résulte du fait que, comme expliqué plus haut, il existe une probabilité de 5 % que la valeur vraie de fiabilité à 99,9 % soit supérieure à 25,35 mΩ. L'analyse des données de cet exemple n'admettrait pas une estimation de fiabilité à 99,9 % avec un niveau de confiance de 95 % pour le critère de défaillance énoncé à l'origine, soit une variation maximale de la résistance de 20 mΩ. D'autres analyses, non présentées ici, montreraient que le niveau de confiance de

parvenir à une fiabilité de 99,9 % pour un critère de défaillance correspondant à une variation maximale de la résistance de 20 mΩ serait de 60 % seulement.

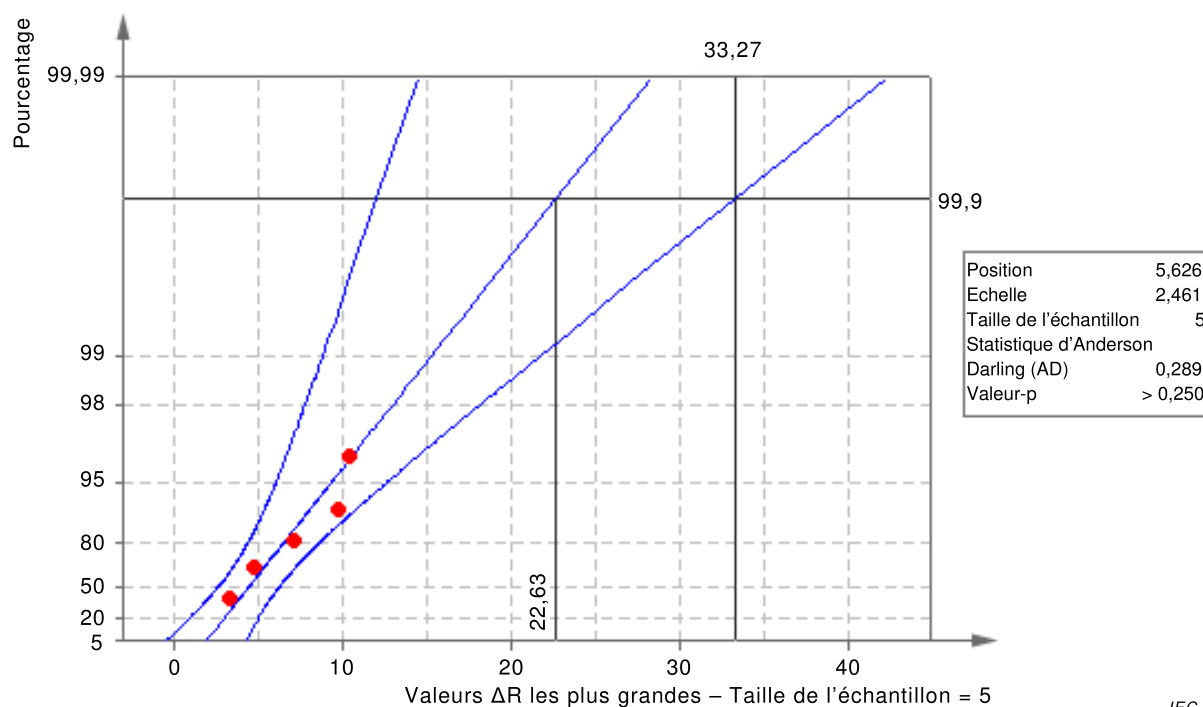
Noter que, lorsque seule la valeur la plus extrême pour les contacts de chaque connecteur est utilisée pour procéder à des estimations de fiabilité, la petite taille de l'échantillon utilisé pose problème. Elle sera égale au nombre de connecteurs soumis à essai. L'utilisation d'échantillons de petite taille limite la précision des estimations de fiabilité obtenues; les intervalles de confiance qui en résultent seront donc assez larges, comme l'a montré cet exemple. Prenons le même ensemble de données que celui de l'exemple précédent, mais pour un programme d'essais utilisant cinq connecteurs seulement au lieu de dix.

Les cinq valeurs suivantes ont été choisies de manière aléatoire parmi l'ensemble original de dix, puis analysées à l'aide d'une distribution des valeurs extrêmes les plus grandes, pour ajuster les données (Figure B.4).

3,209, 4,376, 7,097, 9,639, 10,319

Valeurs de résistance delta les plus grandes avec intervalle de confiance pour les estimations de fiabilité

Probabilité de la valeur extrême la plus grande avec un intervalle de confiance de 90 %



IEC

Figure B.4 – Valeurs ΔR les plus grandes avec intervalle de confiance pour les estimations de fiabilité – Probabilité de la valeur extrême la plus grande avec un intervalle de confiance de 90 % – Taille de l'échantillon = 5

Avec cet ensemble de données réduit, l'intervalle de confiance de 90 % au quantile 99,9 % est à présent de 11,98 mΩ à 33,27 mΩ, et donc plus large que la plage de 12,81 mΩ à 25,35 mΩ basée sur l'ensemble de données complet de 10 valeurs, utilisé à l'origine. L'augmentation de l'estimation de la limite supérieure, qui est passée de 25,35 mΩ, avec une taille d'échantillon de dix, à 33,27 mΩ avec une taille d'échantillon de cinq, est à noter. Inversement, il peut également être affirmé qu'augmenter la taille de l'échantillon de cinq à dix a conduit à une amélioration de la précision de l'estimation de l'intervalle de confiance, entraînant une diminution de l'estimation de la limite supérieure, qui est passée de 33,27 mΩ à 25,35 mΩ.

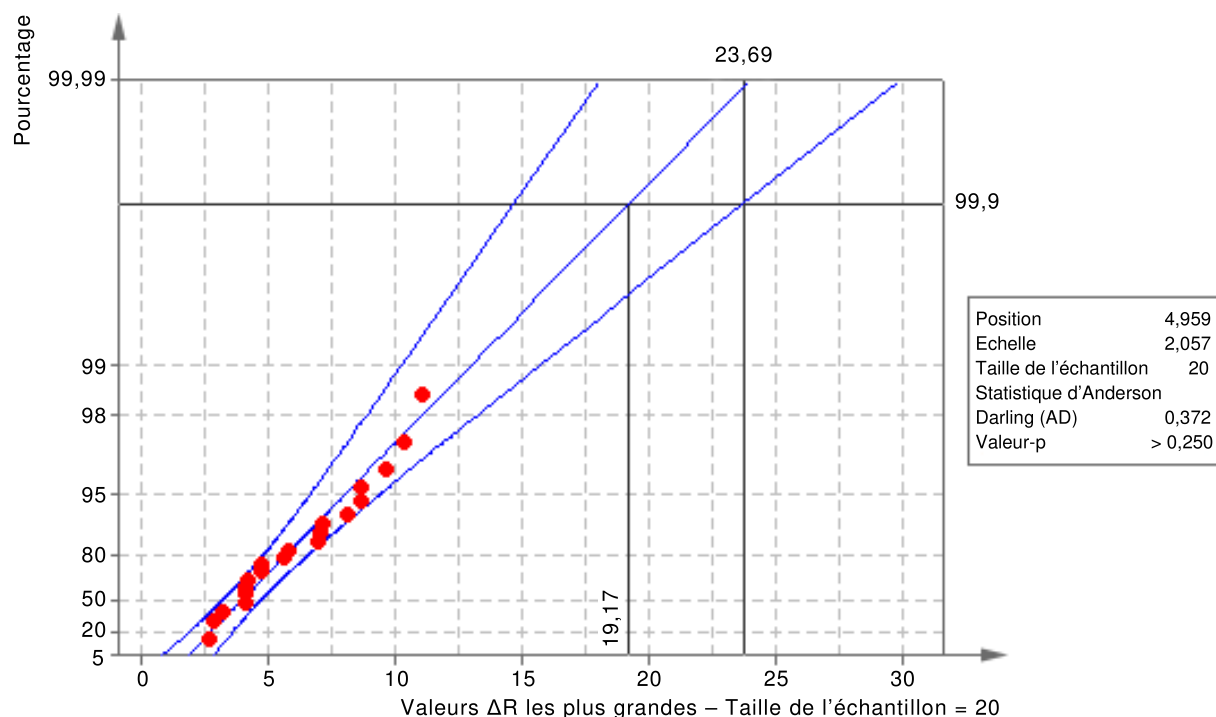
L'exemple ci-dessous représente le cas de l'utilisation d'un échantillon de plus grande taille (échantillon de vingt). L'ensemble de données ci-dessous inclut les dix valeurs d'origine, mais a été étendu afin d'inclure dix valeurs supplémentaires, générées de manière aléatoire pour une distribution des valeurs extrêmes les plus grandes présentant les mêmes paramètres que l'ensemble de données d'origine.

2,619, 2,801, 3,209, 4,036, 4,042, 4,088, 4,168, 4,674, 4,736, 5,591, 5,752, 6,917, 7,002, 7,097, 8,095, 8,663, 8,677, 9,639, 10,319, 11,064

Un graphique de probabilité de ces données, ajustées à une distribution des valeurs extrêmes les plus grandes, est présenté à la Figure B.5.

Valeurs de résistance delta les plus grandes avec intervalle de confiance pour les estimations de fiabilité

Probabilité de la valeur extrême la plus grande avec un intervalle de confiance de 90 %



IEC

Figure B.5 – Valeurs ΔR les plus grandes avec intervalle de confiance pour les estimations de fiabilité – Probabilité de la valeur extrême la plus grande avec un intervalle de confiance de 90 % – Taille de l'échantillon = 20

Avec cet ensemble de données augmenté à 20, l'intervalle de confiance de 90 % au quantile 99,9 % est à présent de 14,64 mΩ à 23,69 mΩ, et donc plus petit que la plage de 12,81 mΩ à 25,35 mΩ basée sur l'ensemble de données de 10 valeurs, utilisé à l'origine. En augmentant encore la taille de l'échantillon, il est généralement attendu que la taille de l'intervalle de confiance diminue encore.

Comme pour toute estimation statistique basée sur l'ajustement d'une distribution à des données d'échantillon, il convient d'être prudent en extrapolant les valeurs hors de la plage de données. Il convient de calculer l'incertitude statistique sur la réponse (dans l'hypothèse où le modèle est correct), et d'estimer par toute méthode raisonnable disponible l'incertitude technique (car le modèle peut ne pas être correct), par exemple en comparant les résultats d'analyses paramétriques et non paramétriques (indépendantes de la distribution).

L'objectif principal des exemples qui précèdent est de démontrer l'utilisation des distributions des valeurs extrêmes utilisant la valeur la plus grande (comme dans cet exemple) ou la plus petite pour les contacts de chaque connecteur soumis à essai. Divers exemples ont été fournis pour illustrer l'effet de la taille de l'échantillon sur la précision de l'estimation de l'intervalle de confiance. Etant donné que les distributions des valeurs extrêmes pour ajuster les données de l'essai de fiabilité n'utilisent qu'une seule valeur (la plus petite ou la plus grande, suivant le cas) pour chaque connecteur soumis à essai, la taille de l'échantillon sera égale au nombre de connecteurs soumis à essai. Ainsi, pour obtenir une précision suffisante de l'estimation de fiabilité et éviter les évaluations prudentes qui peuvent rejeter des conceptions qui sont en fait acceptables, il peut être nécessaire de soumettre à essai un nombre assez important de connecteurs. Cependant, contrairement aux programmes d'essais qui utilisent plusieurs groupes de connecteurs, chacun soumis à une contrainte dominante unique, le protocole d'essai de fiabilité des connecteurs défini dans le présent document utilise un groupe de connecteurs unique soumis à plusieurs types de contraintes. Ainsi, le nombre total de connecteurs requis pour un programme d'essais de fiabilité ayant recours au protocole défini dans le présent document et analysé à l'aide d'une distribution des valeurs extrêmes peut, suivant le cas, être similaire à celui requis pour les programmes d'essais utilisant plusieurs groupes de connecteurs chacun soumis à différents types de contraintes.

Bibliographie

W. H. Abbott, «The Corrosion of Porous Gold Platings in Field and Laboratory Environments», *Proc. Thirteenth International Conference on Electrical Contacts*, Lausanne, 1986, pages 343-347. [Corrosion testing via mixed flowing gas exposures.] (disponible en anglais seulement)

W. H. Abbott, «The Development and Performance Characteristics of Mixed Flowing Gas Test Environments», *Proc. IEEE Holm Conference on Electrical Contacts*, Chicago, 1987, pages 63-78. [Corrosion testing via mixed flowing gas exposures.] (disponible en anglais seulement)

W. H. Abbott, «The Development and Performance Characteristics of Mixed Flowing Gas Test Environment», *IEEE Trans. on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology*, vol. 11. n° 1. Mars 1988 [Corrosion testing via mixed flowing gas exposures.] (disponible en anglais seulement)

R. B. Abernethy, J. E. Breneman, C. H. Medlin, G. L. Reinman, *Weibull Analysis Handbook*, AD-A143 100 (AFWAL-TR-83-2079); NTIS, Springfield, VA 22161 USA (disponible en anglais seulement)

K. L. Beach, V. C. Pascucci, «Contact Stress Relaxation and Resistance Change Relationships in Accelerated Heat Age Testing», *Proc. IEEE Holm Conference on Electrical Contacts*, Chicago, 2000, pages 1-17, [Stress relaxation testing via temperature life exposures.] (disponible en anglais seulement)

C. Cunnane, «Unbiased Plotting Positions – A Review», *Journal of Hydrology*, vol. 37, pages 205-222. Elsevier, Amsterdam, Pays-Bas, 1978 (disponible en anglais seulement).

F. Jensen, N. E. Petersen, *Burn-In: An Engineering Approach to the Design and Analysis of Burn-in Procedures*, 1982; John Wiley & Sons. [Pages 4-5: failure modes and failure mechanisms.] (disponible en anglais seulement)

K. C. Kapur, L. R. Lamberson, *Reliability in Engineering Design*, 1977; John Wiley & Sons. [Pages 40-45, 152-159, 295-308, et Annexes 8-13: Weibull and extreme-value analysis.] (disponible en anglais seulement)

J. R. King, *Probability Charts for Decision Making*, 1971; Industrial Press. [Chapitre 11: The extreme-value distribution.] (disponible en anglais seulement)

S. J. Krumbein and R. S. Mroczkowski, «Environmental Testing of Electronic Connectors», *Proc. SUR/FIN '90* (conférence technique internationale de l'American Electroplaters and Surface Finishers Society), Boston, juillet 1990, pages 781-792 (disponible en anglais seulement).

F. R. Larson et J. Miller, *A Time-Temperature Relationship for Rupture and Creep Stresses*, Trans. ASME, vol. 74, juillet 1952, pages 765-771 (disponible en anglais seulement)

E. E. Lewis, *Introduction to Reliability Engineering*. 1987; John Wiley & Sons. Pages 185-199, (Extreme-value distributions.) (disponible en anglais seulement)

R. F. Mallina, W. P. Mason, J. W. McRae, T. F. Osmer et R. H. Van Horn, «Solderless Wrapped Connections», *The Bell System Technical Journal*, vol. XXXII, n° 3, mai 1953, pages 523-610 [Stress relaxation testing via temperature life exposures.] (disponible en anglais seulement)

W. Q. Meeker, L. A. Escobar, *Statistical Methods for Reliability Data*, Wiley, 1998 (701p) (disponible en anglais seulement).

W. B. Nelson, *Accelerated Testing: Statistical Models, Test Plans, and Data Analysis*, Wiley, deuxième édition, 2004 (616p) (disponible en anglais seulement).

W. B. Nelson, *A Bibliography on Accelerated Test Plans*, IEEE Trans. on Reliability, vol. 54, n° 2, juin 2005, pages 194-197 (disponible en anglais seulement)

W. B. Nelson., *A Bibliography on Accelerated Test Plans – Part 2 – References*, IEEE Trans. on Reliability, vol. 54, n° 3, septembre 2005, pages 370-373 (disponible en anglais seulement)

R. E. Odeh, D. B. Owen, *Parts Per Million Values for Estimating Quality Levels*. 1988; Marcel Dekker. [Factors for one-sided and two-sided tolerance limits for normal distributions.] (disponible en anglais seulement)

P. A. Tobias, O. Trindade, *Applied Reliability*, deuxième édition 1995; Van Nostrand Reinhold. [Pages 81-104: Weibull and extreme-value distributions.] (disponible en anglais seulement)

TEAM, «Probability Plotting Techniques Revisited», *Team Easy Analysis Methods*, vol. 6, n° 1, hiver 1979. Technical and Engineering Aids for Management (TEAM), Box 25, Tamworth, NH 03886 USA (disponible en anglais seulement).

W. Weibull, «A Statistical Distribution Function of Wide Applicability», *Journal of Applied Mechanics*, septembre 1951, pages 293-297. [The Weibull distribution] (disponible en anglais seulement)

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch