

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Reliability stress screening –
Part 2: Components**

**Déverminage sous contraintes –
Partie 2: Composants**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61163-2:2020



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2020 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
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 corrigendum or an amendment might have been published.

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

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

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries 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

67 000 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.

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

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 une fois par mois par email.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 000 articles terminologiques 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

67 000 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.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Reliability stress screening –
Part 2: Components**

**Déverminage sous contraintes –
Partie 2: Composants**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 03.120.01; 31.020

ISBN 978-2-8322-7910-6

**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	4
INTRODUCTION	6
1 Scope	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	7
4 Description of reliability stress screening (RSS)	8
5 Types of RSS	10
5.1 General	10
5.2 Constant stress screening	10
5.3 Step stress screening	10
5.4 Highly accelerated stress screening (HASS)	10
6 Managing RSS	11
6.1 Planning	11
6.2 Termination of RSS	12
7 Design of RSS	12
7.1 General	12
7.2 Physics of failure	12
7.3 Common screening procedures	13
7.4 Characteristics of a well-designed screening procedure	14
7.5 Screening evaluation	14
7.6 Selection of samples	14
7.7 Setting the duration of RSS	15
8 Managing an RSS programme	15
8.1 Resources	15
8.2 Monitoring during RSS	16
9 Analysis for RSS	16
9.1 General	16
9.2 Cost benefit analysis	16
9.3 Identifying early failures	16
9.4 Analysis of the outputs of RSS	17
Annex A (informative) Data analysis	18
A.1 Symbols	18
A.2 Weibull analysis	18
A.3 Design of a reliability stress screening	19
Annex B (informative) Examples of applications of reliability stress screening processes	23
B.1 General	23
B.2 Transformers	23
B.3 Connectors	25
Bibliography	28
Figure A.1 – Estimation of η and β	18
Figure A.2 – Nomograph of the cumulative binomial distribution (Larson)	20
Figure A.3 – Example of a Weibull plot	21

Figure B.1 – Weibull plot of the bump screening	25
Figure B.2 – Weibull plot of the pull test.....	27
Table 1 – Common screening types and typical defect types precipitated by RSS.....	13
Table A.1 – RSS test results	21
Table A.2 – Screening results for weak populations	22

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61163-2:2020

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

RELIABILITY STRESS SCREENING –**Part 2: Components****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.

International Standard IEC 61163-2 has been prepared by IEC technical committee 56: Dependability

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1998. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) this version of the document is a complete rewrite and restructure from the previous version.

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

FDIS	Report on voting
56/1875/FDIS	56/1887/RVD

Full information on the voting for the approval of this International Standard 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.

A list of all parts in the IEC 61163 series, published under the general title *Reliability stress screening*, can be found on the IEC website.

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61163-2:2020

INTRODUCTION

Although first developed to stabilize the parameters of manufactured components (burn-in), reliability stress screening (RSS) can be used to remove from a component population the weaker components. This can be done at times where the manufacturing processes for components are difficult to control or for other reasons such as where the components need to be selected (re-qualified) to operate in harsher than usual operating conditions. This is also done where more narrow specifications are required for the application and no alternative courses of action are available.

The use of RSS is normally only a temporary measure when early failures need to be avoided under a specific set of conditions as outlined above.

RSS is an effective tool in identifying and removing flaws due to poor component design and manufacturing deficiencies.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61163-2:2020

RELIABILITY STRESS SCREENING –

Part 2: Components

1 Scope

This part of IEC 61163 provides guidance on RSS techniques and procedures for electrical, electronic, and mechanical components. This document is procedural in nature and is not, and cannot be, exhaustive with respect to component technologies due to the rapid rate of developments in the component industry.

This document is:

- a) intended for component manufacturers as a guideline;
- b) intended for component users as a guideline to negotiate with component manufacturers on RSS requirements;
- c) intended to allow the planning of an RSS process in house to meet reliability requirements or to allow the re-qualification of components for specific, upgraded, environments;
- d) intended as a guideline to sub-contractors who provide RSS as a service.

This document is not intended to provide test plans for specific components or for delivery of certificates of conformance for batches of components.

The use of bi-modal Weibull analysis to select and optimize an RSS process without having to estimate the reliability and life time of all items is described.

2 Normative references

There are no normative references in this document.

3 Terms and definitions

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

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>

3.1

screen

conditions, for example stress level and duration, used for the removal of non-conforming items from a population

3.2

screening

process carried out to detect and remove non-conforming items, or those susceptible to early life failure

Note 1 to entry: Screening may employ representative or elevated stresses.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-09-11, modified – Deletion of “test” in the term, replacement of “test” with “process” in the definition and replacement of “The test” with “Screening” in the Note 1 to entry.]

3.3

RSS

reliability stress screening

process for detecting flaws by applying environmental and/or operational stresses to precipitate them as detectable failures

Note 1 to entry: RSS is designed with the intention of precipitating flaws into detectable failures. An ageing process designed specifically with the intention of stabilizing parameters is not an RSS process and is therefore outside the scope of this document.

Note 2 to entry: This note applies to the French language only.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-09-19, modified – Addition of Note 1 to entry.]

3.4

flaw <of an item>

imperfection that could result in failure

Note 1 to entry: An imperfection in this case is a physical characteristic of the component that leads to a failure to perform in a required way.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-04-03, modified – Addition of Note 1 to entry.]

3.5

early life failure period

infant mortality period

time interval of early life during which the instantaneous failure intensity of a repairable item, or the instantaneous failure rate of a non-repairable item, decreases significantly with time

Note 1 to entry: What is considered “significant” will depend upon the application.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-02-28]

3.6

weak item

item which has a high probability of failure in the early life period due to a flaw

3.7

weak population

subset of the total population of items made up of only weak items

3.8

strong population

subset of the total population of items made up of non-weak items

4 Description of reliability stress screening (RSS)

The process of RSS is used to detect flaws in a population of items, usually components, leading to the subsequent removal of these flawed items from the population. The removal of such components facilitates rapid achievement of the reliability level expected for the population over the useful life.

This can often happen when problems with items are identified and it takes time to fix the design or the production process for the item but the existing items need to be used immediately. This is typically a sorting exercise where the RSS is used to fail the items with problems so they can be identified in the population or batches.

RSS can also be used to sort items to meet specific operating conditions or functional parameters where it is used to select items that meet a requirement higher than what was originally specified from a batch that was lower than what was originally specified, for example screening components for temperature stability or other factors that affect reliability.

Typically RSS is initiated in response to one or more of the following situations:

- customer requirements specify the use of screening;
- field performance identifies an issue with early product failures;
- the production process generates a concern for latent defects;
- to reduce the uncertainty with the introduction of a new product or process;
- to select, from a selection of different components performing the same function, but with different technologies/techniques;
- some items need to be screened to meet a tighter or increased specification.

The RSS method is achieved by applying specific environmental or operating conditions to stress the population of items. This applied stress, or combination of stresses, will often have environmental and operating conditions in excess of the stress at normal operating conditions. The stresses usually used are temperature, humidity, vibration, acceleration, electrical stress and similar conditions. A screening may have one or more conditions set at higher than normal levels.

The screening takes places at the item level, which is usually at component level but may include some large packages containing multiple components. RSS of products is covered by [1]¹.

The screening will cause flawed components to fail quickly and so be identified in the population. These components are then removed from the population. The remaining components are then referred to as having been screened and the process is similar to sorting, where the RSS is used to split the population into two distinct sets, one that has been failed by the screening and one that has not. In some cases, a sample from a batch is screened to determine whether a lot contains weak components.

NOTE 1 If a screening strength is too high then non-flawed components can also fail and in fact an extremely strong screening could fail the entire population. It can also degrade them without failure but reduce their useful life. For this reason, it is important that a screening procedure is carefully designed according to the physics and materials of the components undergoing the screening and the reasons for the screening.

RSS should not be used as a normal procedure to assure the reliability of individual components. The RSS method can, however, improve the actual reliability of a population or system by removing flawed components that are more likely to cause failure.

The cost of performing RSS should be carefully evaluated and the screening only undertaken if the potential benefits outweigh the cost.

If early failures are caused by the assembly processes for the finished item including the component, and its handling (ESD damage, contamination, etc.) RSS will not be effective and so should not be done. However, it may be possible to perform RSS of the finished item [1].

NOTE 2 The use of RSS is inappropriate if there are no early failures. The failures can be reduced if needed using other methods like design changes [5]. Early failures can be identified using the techniques in [6].

NOTE 3 The use of RSS is inappropriate if the relevant failures can be detected without operating the item over time. Failure detection at zero operating time is carried out by parametric measurement or the use of non-invasive techniques like X-ray, scanning acoustic microscope (SAM) and similar methods.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

NOTE 4 Using RSS to upgrade component population specifications can lead to problems, for example a logistical problem can occur when similarly screened components are not available at a later date. This can be mitigated by performing RSS on enough components for the repair of the system over its entire service life or by ensuring that the system documentation is sufficient to control component procurement so that all replacement components be similarly screened (see [7]).

Sometimes it is necessary to carry out other actions beyond RSS in order to meet the requirements and many of the principles of reliability growth described in [5] apply. Typically, changes in the design, the manufacturing processes or in the components' use may have to be made. It also may be necessary to adopt a failure mode avoidance strategy that can remove the causes of the failures or at least deal with them when they occur, for example via redundancy.

In some cases, the stress screening will not give the results that are expected and in those cases, further investigation is required to understand what has happened. This can happen when a stress applied has effects that were not predicted in the initial physics of failure analysis (see 7.2). In these cases, a redesign of the stresses applied to be more specific will be necessary.

Some examples of the application of RSS are given in Annex B.

5 Types of RSS

5.1 General

There are a number of types of RSS: constant stress screening, step stress screening, and highly accelerated stress screening (HASS).

The purpose of all of these screening types is to cause relevant failures to occur in the item. Such relevant failures are those that would have prevented the item from achieving its reliability requirements in service.

5.2 Constant stress screening

A constant stress screening is a screening procedure where a constant environmental and/or operational stress is used for the duration of the process.

5.3 Step stress screening

Step stress screening is a screening procedure where environmental and/or operational stresses are changed at planned intervals, usually increasing in strength for the duration of the process.

Step stress screening is often used to shorten process times, and to give some idea of likely failures rates at different stress levels. For this reason it is sometimes used in the RSS planning phase to select those levels.

5.4 Highly accelerated stress screening (HASS)

Highly accelerated stress screening (HASS) is a screening procedure used in conjunction with a highly accelerated limit test (HALT, see IEC 62506 [2], [3]). A HALT is needed before a HASS screening procedure can be started.

NOTE HALT uses very high stress levels, typically high and low temperature, rapid temperature change and mechanical vibration or mechanical shock. HALT is performed on a small sample of items. The output of the HALT is typically the high and low operational limits for example the temperatures when the item stops functioning, but recovers function once the item is brought back to normal operating temperature. Further, the HALT identifies the destruction limits, the temperatures where the item fails permanently i.e. it does not recover as the temperature is brought back to normal. In some cases, the limits cannot be found within the temperature range relevant for the technology of the item. This limit information is used as the basis for setting up a HASS procedure.

HASS, unlike HALT, is intended to be an on-going process either performed on the whole production (100 % screening) or on a sample from the production or from a batch.

The HASS process is typically set up as a rapid temperature change between the upper operating limit reduced by some amount and the lower temperature limit plus the same amount. If no operating limits have been identified, a level as high as appropriate for the item's technology is chosen. Normally the screening strength of the HASS screening is adjusted by increasing or decreasing the number of temperature cycles. The number of cycles in the HASS can be determined and kept optimized using the procedure described in Clause A.3 and [11].

HASS normally stays within the items' operational limits to allow continuous monitoring of the function of the item but operational limits can be exceeded where the items under HASS are not monitored during the screening. The stress levels should stay below the destruction limit for good items. The items should then be tested for function after the HASS. Since HASS is resource and time consuming, requiring specialist equipment, HASS is often performed on a sample from the production.

6 Managing RSS

6.1 Planning

In order to plan RSS, the objectives need to be identified and these objectives will be slightly different according to the underlying reasons for carrying out RSS. The objectives of the RSS will affect the type of screening applied (see 7.3).

The plan should define the objectives and success criteria of the RSS.

The RSS plan should encompass all aspects of the RSS process and is integrated into the overall manufacturing test plans. The plan should be a useful tool for identifying the resources that are required for conducting RSS.

As a minimum, the RSS plan needs to contain the following items:

- overall process flow chart;
- a schedule identifying dates for the completion of RSS procedures and the beginning of RSS;
- which stresses will be employed;
- how the screening procedures will be applied to the item, i.e., RSS parameters, sequence of screening procedures, combination of screening procedures;
- the data collection process and methods of monitoring of items during the RSS;
- screening facilities and equipment used;
- methods for modifying the RSS based on item failures;
- decision-making ground rules applicable to failures;
- subcontractor/supplier RSS requirements;
- RSS organization and management responsibilities;
- personnel and their responsibilities for the various functions within the RSS process.

The RSS process flow should be a closed loop operation, i.e. one that includes feedback of results, in order to be successful.

Deliverables of the RSS process are

- failure reports;
- throughput data;

- RSS performance data.

These deliverables are reviewed for trends and screening effectiveness.

6.2 Termination of RSS

Termination of RSS is normally justified by a substantial amount of failure-free observational data from the process, suggesting that the weak components have been removed or reduced significantly.

RSS may be accepted as a permanent process only in cases where components have to be screened for performance against a particular component parameter (e.g. actual operating temperature limit), where the standard components from the supplier does not fulfil the requirements for the use of the component, or it is a contractual obligation.

7 Design of RSS

7.1 General

Designing an effective screening is an empirical process that can adapt standard RSS processes. This is not to say that certain screening procedures cannot be reasonably effective for similar item configurations, however, as a rule, an individual screening procedure should be tailored to the item being screened, considering both the characteristics of the item and the anticipated defect types.

An effective screening is one that delivers the required failures as quickly as possible without causing other failure mechanisms that would not normally occur in use. The screening also needs to be economically viable. There is often a trade-off between the cost and effectiveness of the screening. A process of optimisation may need to be undertaken to choose the most effective set of screening procedures.

The particular set of screening conditions will require a certain application time before results are seen. The stress level will control how long this application time needs to be and, in general, higher stresses require shorter time.

NOTE The use of the maximum stress level that is appropriate is possible but verification that the chosen combination of stress types and stress levels does not reduce the life time of the strong components is important. This can, for example, be done by exposing a sample of components to 10 times the duration of the planned RSS screening.

Under some circumstances, it is beneficial to use step stress screening [8] where the failures at each stress level are examined and the dwell times at each level are shortened as necessary. This is the case when there are no failures at lower stress levels, perhaps because they are not set up to be harsh enough initially to precipitate failure, or perhaps some other type of failure is occurring that requires further investigation.

7.2 Physics of failure

Before any screening procedure can be defined, it is necessary to have a detailed understanding of the way in which the items under consideration can fail. To do this, information on the failure modes will need to be gathered. Failure mode information is available from a number of sources, the most reliable of which being the item manufacturer.

NOTE 1 Only failure modes that are significant to the overall objective are considered.

Each failure mode that is considered can arise due to a number of different failure mechanisms, and these are based on the basic physics of the item being considered.

Each failure mechanism will have a number of contributory factors that will cause it to occur at a particular rate. Each of these contributory factors will have certain levels that need to be

reached before the mechanism will start and the mechanism will run at different rates as the levels of these contributory factors change.

EXAMPLE Corrosion will often lead to open circuit failure as conductors corrode away and corrosion has a particular set of contributory factors that will be present in order to occur, such as moisture, and ionic contaminants.

In order to create an effective screening, the failure mechanisms need to be known so that the screening conditions can induce the required failure mechanisms to occur at a sufficient rate so that the relevant failure mode is precipitated in a short period.

NOTE 2 Arbitrary application of screening stresses is not an effective strategy since the stresses are specifically directed to the problems that are identified.

NOTE 3 It is likely that the most effective screening conditions can require a mix of screening conditions and that the order in which the screening conditions are applied can be significant.

It may be possible to use simulation to model the effect of a screening before applying it to the item so that the screening effectiveness can be judged. To do this, physics of failure models, if available, can be used.

In addition, a number of empirical equations have been developed that allow the effect of stress to be modelled in a general way. Some of the general equations are described in [9] and more specific ones for electrical component types can be found in [10].

7.3 Common screening procedures

There are a number of common types of screening procedures which have been used with some degree of success. These common screening procedures (stresses) are shown in Table 1.

Table 1 – Common screening types and typical defect types precipitated by RSS

Stress	Defect types precipitated
Thermal cycling	Component parameter drift Hermetic seal failure Poor thermal coefficient matches Stress relaxation Loosening of connections or parts Cracks
Vibration	Particle contamination Defective oscillator crystals Poorly bonded internal parts Poorly secured high-mass parts Mechanical flaw Loosening of connections or parts Part mounting issues
Combined thermal cycling and vibration	All mechanisms under vibration and thermal cycling Interaction between mechanisms
High voltage	Shorted connections
Humidity	Sealing properties Hygroscopic contamination Circuit stability Corrosion
High temperature	Performance degradation Chemical reaction

Stress	Defect types precipitated
Acceleration	Cracks Mechanical defects
Gas pressure test	Leaks and hermetic failure
Power cycling	In-rush current response Circuit transients

EXAMPLE "Combined thermal cycling and vibration": The defects listed occur for two basic reasons: certain defect types are susceptible to both temperature and vibration stresses and a synergistic effect exists between temperature cycling and random vibration. The synergistic effect can manifest itself when temperature cycling and random vibration stresses are applied either simultaneously (preferred method), or in sequence. If applied in sequence, best results are most often achieved by the sequence of thermal cycling-vibration-thermal cycling.

7.4 Characteristics of a well-designed screening procedure

An effective screening will

- precipitate relevant flaws rapidly;
- not induce new types of flaw;
- precipitate adequate proportion of inherent flaws;
- not initiate design changes based on false alarms;
- not consume a significant percentage of item life (minimize consumption of useful life).

7.5 Screening evaluation

The approach taken during screening conditions development is to subject a small sample of items to the screening conditions in an experimental situation to ensure that the flaws are being stimulated to failure.

In this evaluation, the items are exposed to the selected screening for a sufficient time so that a relevant number of flaw related failures may occur. The number of failures that need to be observed during this evaluation to show that it could be an effective screening is related to the assumed size of the weak population within the sample and the required confidence levels. If the expected number of failures is not generated by the evaluation in the expected time, then the stress levels can be modified. Bi-modal Weibull analysis can be used to analyse and evaluate a screening [11]. Note that this screening evaluation can also be used to set the duration of the RSS.

7.6 Selection of samples

Sampling is a standard statistical control process that enables the user to establish the consistency or quality of output items on the basis of testing of item samples.

If RSS is intended to remove all weak components then the sample shall be 100 % (complete), in that all components to be used need to be subjected to the screening. However, screening 100 % of the components does not guarantee that 100 % of flaws will be identified.

The advantage of a 100 % screening is that the confidence that all weak components have been screened away is high, hence it is generally recommended to start with a 100 % screening of the first batches and when the numbers of weak components are reduced to go to screening of batches using samples.

If the purpose of the screening is to detect with a stated confidence that a problem is present in a given batch or production line, then a sampling procedure needs to be selected based on the risk of non-detection of a given percentage of non-conforming items.

Three major sampling methods are common: single sampling, double sampling, and chain sampling (commonly known as Wald's method). Choice of an appropriate sampling method requires an estimation of a population proportion and its confidence interval. Whilst the Wald method is commonly used for calculating the confidence interval, it is not without some flaws and alternative procedures such as the Clopper-Pearson method or the Wilson Score method should also be considered [4], [12], [13], [14]. For more details on sampling, see [15].

7.7 Setting the duration of RSS

Part of the setting of the duration of the RSS depends on the actual operational time to failure of the types of failure observed. This may be known through field failures, lab tests, or estimated by engineering judgement supplemented by tests analysed by the bi-modal Weibull methods [11].

The duration of application of the screening should be determined after the selection of the appropriate screening. The screening and its duration should also be evaluated with respect to the effect on the remaining life on the items that pass the screening.

The screening duration will need to consider the screening time to failure of the weak items. The initial duration of the RSS is determined by screening a sample of items at the planned RSS stress levels as described in Clause A.2. The duration of the screening should be so long that it is expected that all weak items in the sample have failed under the screening conditions of increased stresses. A typical duration will be the equivalent of one year in the field, taking into account the acceleration factor from the increased stresses.

The observed failures are then analysed using the bi-modal Weibull analysis as described in Clause A.3 (see also IEC 61649 [11]). The idea of the bi-modal Weibull analysis is to plot the observed failures and identify the weak population i.e. the items that would have failed early in the field under normal operating conditions. The Weibull plot will indicate this by the levelling out of the curve once the weak items have failed. The percentage of failures where the curve levels out is an estimate of the percentage of the weak population. A few items from the strong population may fail later in the screening procedure, and be plotted to the right of the levelling off point, giving the curve an S-shape. But often no items from the strong population will fail so that the levelling off is confirmed by the absence of failures for a long time compared to the time between failures of the weak items. Since the x-axis of the Weibull plot is logarithmic this can normally be easily detected visually. Otherwise the Bayes method described in [17] can be used.

This analysis will estimate the percentage of weak items as well as the characteristic life of the weak items. Based on this information, the duration of the RSS needed to screen out a specified percentage, for example 95 % of the weak items, can be determined as described in Clause A.3.

During the operation of the RSS, the observed failures should be plotted using bi-modal Weibull analysis as described in Clause A.3 (see [11]). If the time to failures of the items are registered, by continuous function testing, this is easy. If however the items are only function tested after the RSS process, a sample may have to be monitored to determine the times to failure.

Once the screening has started it is important to follow the detected percentage of weak components over time. If this percentage goes down, the duration of the RSS may be reduced, or even changed to a lot screening. If the percentage goes up, the duration of the RSS should be increased and the new optimum duration should be determined. By monitoring field feedback (see [16]) it should be determined how many early failures still remain in the field after the RSS.

8 Managing an RSS programme

8.1 Resources

RSS is usually carried out using environmental chambers with the necessary capabilities for screening conditions and for monitoring. The actual specification and number of chambers

needed depend on the RSS to be carried out. For the more common screening conditions, suitable chambers will already be available commercially, however for less common screening conditions, these may have to be specifically constructed hence the need for these should be identified early to allow procurement.

8.2 Monitoring during RSS

An RSS process should be monitored during operation to see if it remains effective and to make adjustments if it is not. In order to monitor the RSS, suitable monitoring and test equipment will be required. It is likely that this will need to be automated and will be used continuously while the RSS is underway. If the components being screened are monitored continuously during the RSS, it is easy to analyse the data and hence evaluate the use of RSS.

The monitoring should allow the failure of the items being screened to be detected. However it is not always possible to measure failure directly and so secondary indicators are sometimes used as proxies (e.g. noise in conductors, recovery times in semi-conductors, mass in wet electrolytic capacitors). The ability to detect failure directly or if a proxy needs to be used depends on the physics of the devices being screened. This needs to be considered when the physics of failure of the item are examined during screening procedure design.

While the RSS is underway, it is necessary to register the percentage of weak items found over time. During the RSS, the percentage of failures observed during the screening can change:

- if the percentage of failures increases, the duration of the screening may be doubled and this should be followed by a fresh evaluation of the screening [17];
- if the percentage of failures decreases, a fresh screening evaluation should be performed to decide if the duration of the screening can be decreased;
- if the percentage of failures remains constant over a period of time, the screening evaluation should be repeated at regular intervals;
- if there are no failures over a period, the use of RSS should be re-evaluated;
- if there are too many failures over a period, the use of RSS should be re-evaluated.

9 Analysis for RSS

9.1 General

During an RSS process, a number of forms of analysis will need to be carried out. To identify the need to carry out an RSS statistical analysis of failures to identify if early failures are present will be needed and this is usually supplemented by a root cause analysis to identify physical reasons for failure. Then before starting the RSS, it is typical that a cost benefit analysis is performed. During the RSS, statistical analysis is needed to examine the output data generated. Root cause analysis is needed to check that the failure is as expected and other data generated will be analysed as needed to decide if the screening procedures applied are appropriate and to determine the duration of the screening.

9.2 Cost benefit analysis

The costs of carrying out RSS can be high and a cost benefit analysis is needed to ensure that the costs of failure justify such an investment. A decision then needs to be made to go ahead with RSS if the risk posed by these weak components is sufficient to justify the costs.

9.3 Identifying early failures

Before starting RSS, it is necessary to determine if the failures observed are early failures. The information for this can be obtained from field feedback using the mean cumulative failure (MCF) method described in [16]. This method estimates the percentage of early failures and may also estimate the characteristic life of the weak population.

Alternatively data from screenings may be analysed using Weibull analysis [11] as shown in Annex A. If the plot indicates a weak and a strong population the bi-modal Weibull distribution can be used to model the weak population and obtain the characteristic life.

9.4 Analysis of the outputs of RSS

The main outputs of an RSS process are failed and non-failed components. In order to ensure that the failures seen are appropriate for the RSS objectives it is necessary to carry out failure analysis on the components.

Failure analysis is the process by which the root cause of failure is identified at the component level; this may involve physical inspection and/or testing of the component. The exact requirements will differ for every component type due to material and construction differences and the mechanism of failure so that no single procedure is universally applicable. However, the general principles of root cause analysis [22] may be applied, supported by other analysis techniques described in academic and reference works [18,19,20,21]. Generally, the purpose of failure analysis is to confirm that the components have failed in the way that was anticipated when the screen was designed.

The screening procedure should be revised to make sure it is appropriate for the objectives if the components are failing in a different, unexpected, way.

In most cases the best source of knowledge about component failure analysis will be the component manufacturer. Many manufacturers will undertake failure analysis of their components by arrangement or provide information to make it possible. There are also many speciality investigation laboratories which, for a fee, will carry this work out.

NOTE Sometimes the non-failed components are also investigated, to compare with failed components.

The screening process will provide data for times to failure for the components screened, environmental conditions and other applied stresses and secondary parameter information. The data collected will depend on the component being screened, the size of the batch being screened and the nature of the screening. Because of this possible diversity of data, it is not possible to give specific guidance on how to analyse the data but some general points can be made.

Data on times to failures can be analysed using the techniques described in [11], [23]. In general, the procedures used to examine such data are the statistical analysis techniques that can be found in many textbooks on the subject, such as [24], [25]. The complexity of the analyses required will vary with the complexity of the RSS, for instance RSS that uses step screening at different stress levels will require more sophistication in analysis than those that have a single stress level.

Other techniques that may be useful for examining the more general data would include control charts [26], for monitoring the process behaviour with time, acceptance and rejection ratio matrices [27], risk analysis techniques [28], and parametric drift analysis [29].

Annex A (informative)

Data analysis

A.1 Symbols

β	parameter, determines the shape of the Weibull distribution;
η	parameter, also called characteristic lifetime of the Weibull distribution;
$F(t)$	distribution function of failures;
H_i	median rank of the i^{th} item;
i	failure number;
n	sample size;
p	proportion of weak components;
t	operating time;
t_i	operating time of the i^{th} item.

A.2 Weibull analysis

When reliability stress screening has been performed, the data can be plotted in order to discover the distribution function. The Weibull distribution is the most frequently used in reliability work and so that is normally fitted to the data. However, fits to other distributions are possible. The Weibull distribution is described in detail in the Weibull standard [11].

In stress screening the most useful outcome of the analysis is a bi-modal distribution and this is indicated in Weibull analysis by a curve with an S-shape, as shown in Figure A.1.

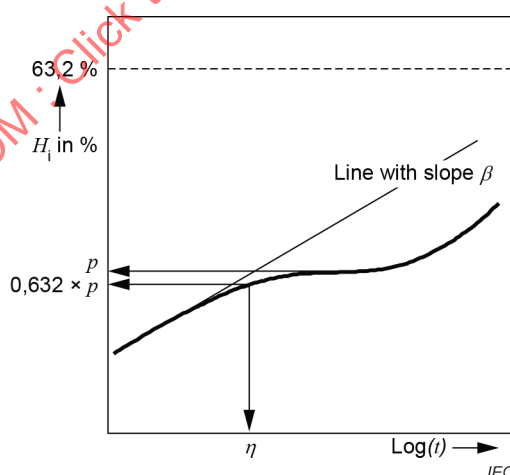


Figure A.1 – Estimation of η and β

When the best smooth curve has been drawn and the knee of the curve found, the percentage of weak components p can be found as the y co-ordinate of the knee, the point where the curve levels off and becomes more or less horizontal.

The data can now be split into two distributions at this point and the weak and strong population can be analysed separately. This is usually done visually but there is also a Bayesian method described in [11].

Analysis of the weak failures allows the number of reliability stress screening hours or reliability stress screening cycles to be calculated that are needed to remove any percentage of the weak components.

In some cases, it is desirable to estimate the percentage of failures caused by the reliability stress screening process on the strong components. In this case, it is necessary to find the parameters for the strong population. The strong population can be identified from where it lies in the plot and failure analysis can then analyse the failure modes of the failed components. This can only be done if there are at least two failures from the strong population. In this case, the sample size n for the weak components is equal to the number of weak failures, and the sample size for the strong components is the rest of the original sample. For this plot, it may be necessary to use the Bayes method to distinguish between the weak and the strong failures [11].

If the original curve, with all failures plotted, does not have an S-shape, there may be many reasons that need to be explored:

- The reliability stress screening was too short. Not all weak components in the sample have failed during the stress screening, hence an increase in the time of screening is recommended.
- The stress level chosen for the reliability stress screening was too low. All the weak components in the sample have not failed in the stress screening hence an increase in the stress level is recommended.
- The reliability stress screening stress level was too high, all components failed with a stress screening related failure mechanism, hence a decrease in the stress level is recommended.
- There may be some failure free time before the first weak component fails, hence a model using a three-parameter Weibull can be used to perform the analysis, see [11].
- There may be no weak components.

A.3 Design of a reliability stress screening

Firstly, the required number of components to be used in reliability stress screening is computed. For example, if the proportion of weak components is 5 %, in order to draw a reasonable S-curve as shown in Figure A.1 at least four failures are required. Assuming 90 % probability of having at least three failures and using the binomial equation, a spreadsheet or the nomograph of Figure A.2, a line is drawn from the scale to the left $P = 0,05$ to $P = 1 - 0,9 = 0,1$ on the right-hand scale.

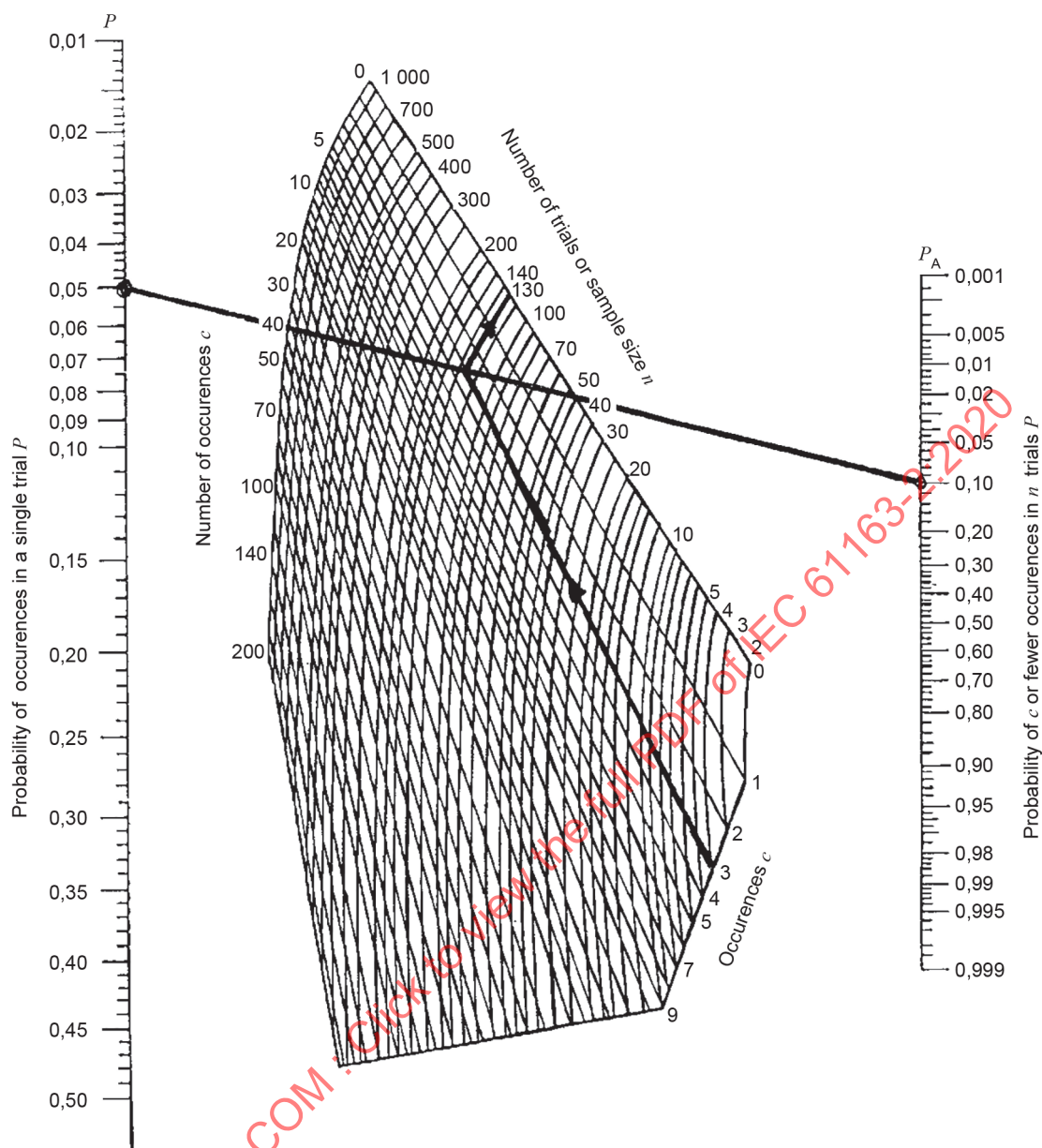


Figure A.2 – Nomograph of the cumulative binomial distribution (Larson)

Since the probability $P = 0,1$ is for three or fewer failures, the point at which the line crosses the failure line $c = 3$ in the centre curves should be noted. From this point the sample size line is followed and $n = 130$ is read as a sample size.

This means there should be at least 130 components in the reliability stress screening in order to get at least four failures with 90 % probability provided that the level of weak components is 5 %. If the level of weak components is lower, a higher sample size is required. If the percentage of weak components is larger than 5 %, then a smaller sample can be used.

An example of calculation is given hereafter.

Assuming that a reliability stress screening with $n = 23$ components has been carried out, and five failures have been observed, the median ranks for the Weibull plot can then be computed (see Table A.1) and displayed as in Figure A.3.

Table A.1 – RSS test results

Number of failures i	Time to failure t_i	Median rank % $H_i = \frac{i-0,3}{n+0,4} \times 100 \%$
1	6	3,0
2	14	7,3
3	23	11,5
4	42	15,8
5	98	20,1

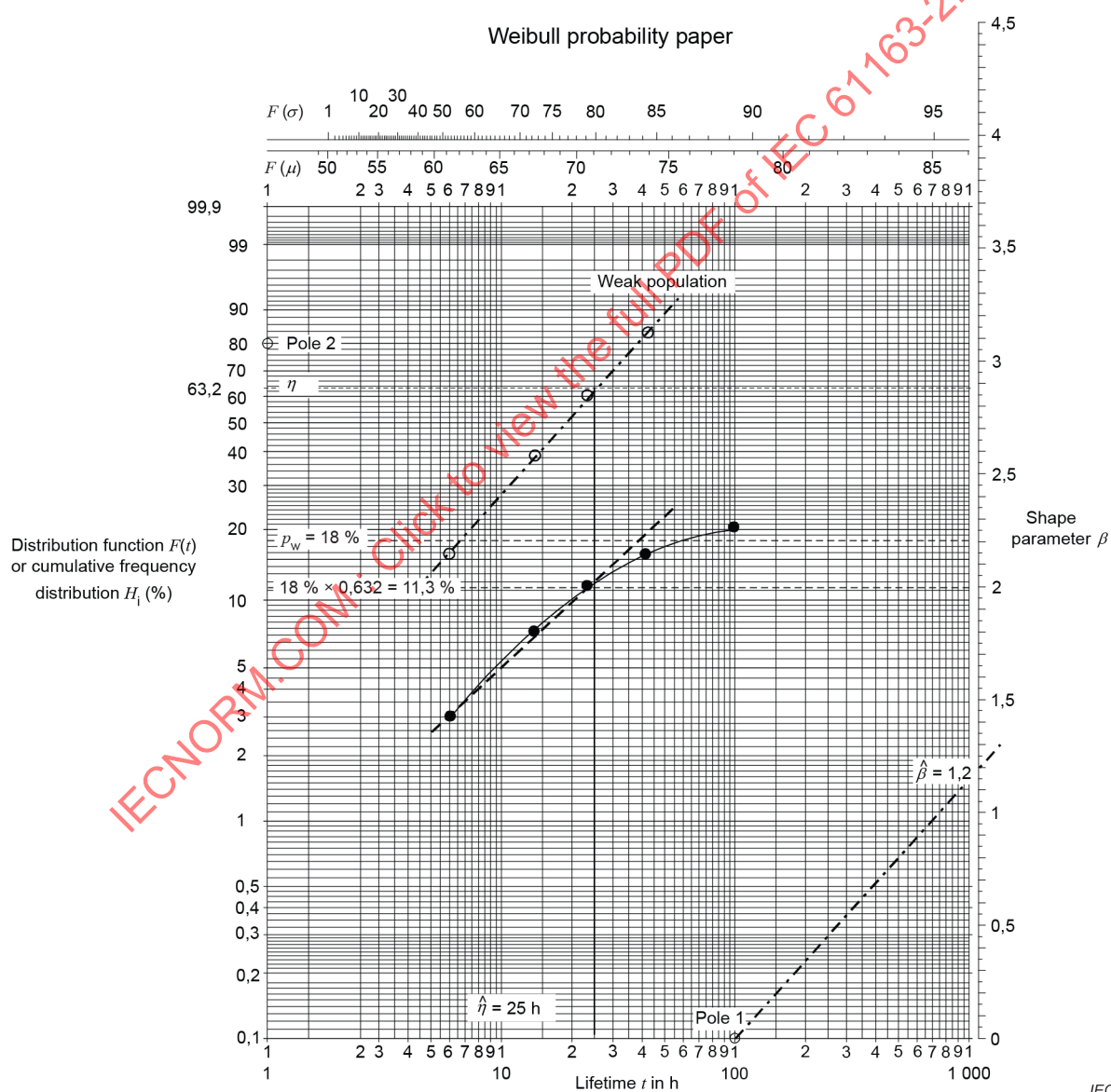


Figure A.3 – Example of a Weibull plot

A smooth line drawn through the points shows that the curve levels out at approximately 18 % and this shows that the weak population is approximately 18 % and the strong population has not started to fail yet. β is estimated at 1,2.

The characteristic life, η , is found by computing $18 \% \times 0,632 \approx 11,3 \%$ and then reading the x -value from the smooth curve at this ordinate. In this example it is found to be 25 h.

NOTE The characteristic life is the time at which 63,2 % of the units will fail if the time to failure follows a Weibull distribution See [11] for details.

In order to calculate the parameters of the weak population, the first four failures are plotted separately using the original x co-ordinates, however the y co-ordinates are given in Table A.2.

Table A.2 – Screening results for weak populations

Number of failure i	Time to failure t_i	Median rank % $H_i = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} \times 100 \%$
1	6	16
2	14	39
3	23	61
4	42	84

The straight line drawn through the first four failures shows that the slope of this line is $\beta_1 \approx 1,2$. The Weibull parameters for the weak distribution are therefore $\beta_1 = 1,2$ and $\eta_1 = 25$ h.

This more exact η_1 is found on the plot of the weak population alone. It is not possible to draw the curve for the strong population since there is only one strong failure. It is possible to estimate the percentage of strong components that have failed at 98 h to be 1 out of $23 - 4 = 19$ strong components, i.e. 5,3 %.

It is desirable to remove 99 % of the weak components in the screening and, therefore, to plot the weak components alone. The optimum duration of the reliability stress screening process will be 90 h. Since this time is lower than 98 h, the probability of a strong component failing is less than 5,3 %. A good conservative estimate assuming constant failure intensity will be $(90/98) \times 5,3 \% = 4,9 \%$.

Annex B

(informative)

Examples of applications of reliability stress screening processes

B.1 General

Examples given in Annex B represent different reliability stress screening cases and component families. They are all fictional and do not represent real, current components.

B.2 Transformers

It is assumed in this example that the transformer is custom made for a specific product by a small manufacturer. Since the production volume is low it is decided to use component reliability stress screening. In this case, the reliability stress screening is performed by the equipment manufacturer or by a sub-manufacturer.

The transformer core is made of thin sheets of metal. There is a possibility that the wrong type of metal is used, or that the magnetic properties of the metal are damaged by the winding process or the heat treatment. This will, however, be found when measuring the no load current. The major problem, however, is known to be acoustical noise from the C-core. After the production, the core is cut, polished and reassembled around the windings. This can produce acoustical noise if there are flaws in the polishing and reassembly process. For the windings the use of the wrong type of wire (primarily wrong diameter) is a possibility. But this fault will normally be found when the electrical resistance of the winding is measured. The number of windings may be wrong, but this will be found when measuring the voltage/transformer ratio. The most dangerous flaw in the windings is damage to the insulation, wrong insulation lacquer (wrong temperature characteristics), and nicks and damages to the wires.

In order to check for the acoustical noise either mechanical vibration or bump/shock can be used to check if the two parts can become loose. This screening should be followed by a noise test in cold and in hot conditions. Alternatively, one could use thermal cycling for the transformer with continuous noise monitoring. For noise monitoring direct listening could be used, but this requires each transformer to be checked individually in an anechoic chamber. An alternative can be to listen to each transformer with the aid of a stethoscope. Another possibility is a microphone or accelerometer combined with a frequency analyser.

For the windings it is usual to put the finished transformer into a hot chamber, load it electrically to its maximum rating, and measure the temperature of the windings. This will find the flaws from damaged lacquer and wrong type of lacquer. It will also find any nicks in the wire. Alternatively, a thermograph of the wire can be used to indicate local hot spots caused by short circuits or nicks in the wire. Some damage to the lacquer and insulation will be found during the high voltage test that is required for safety reasons.

For the vibration and bump/shock very large values can be chosen due to the mechanical robustness of the transformer. Care should however be taken with plastic parts and terminals. A level of 40 m/s² up to 70 m/s² can usually be used without problems. The temperature level also has to take the maximum operating temperature into account. The chosen level should be the maximum operating temperature of the lacquer minus the expected temperature rise in the transformer at full load.

The transformer needs to be operated at full load in the hot chamber. The sequence is selected to be 1 000 bumps at 70 m/s² followed by a noise measurement. Subsequently the transformer is placed in a climatic chamber heated to the maximum operating temperature of the wire minus the expected temperature rise at full load. In this example 80 °C lacquer is used. The expected temperature increase is computed as 18 °C. The screening is therefore made at 60 °C in the climate chamber with full electrical load. The temperature soak lasts for 2 h after the

temperature stabilization. After the temperature screening, the acceptance test is performed including high voltage test of the insulation.

The RSS of 100 transformers is performed and the number of failures noted as a function of the duration of the temperature soak and the number of bumps. It is decided to keep the duration of the temperature soak as 2 h. The number of bumps can, however, be reduced to 500 since a Weibull plot shows that 90 % of the failures occur during the first 300 bumps.

The failures found are analysed. It turns out that nicks in the wire and damage to the insulation are caused by burrs on the C-core. A better process can solve this problem. Noise is caused by the assembly of the C-core. A more precise torque is specified and a new tool implemented. This solves the problem to a degree that the bump screening and the noise measurement can be reduced to a sample. The temperature soak is, however, kept for safety reasons.

The Weibull plot of the bump screening is shown in Figure B.1.

The reliability stress screening sequence is performed 100 % on the transformers. The noise measurement and test during and after the temperature soak are initially made at 100 % and failed items are scrapped. After the sample screening, the rule is that one failure observed in the sample of 20 transformers results in re-implementation of 100 % bump and noise measurement on the lot where the failure was observed.

The feedback resulted in the reduction of the number of bumps from 1 000 to 500. In this example, the feedback to the production was easy and appropriate changes to processes and tools were made.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61163-2:2020

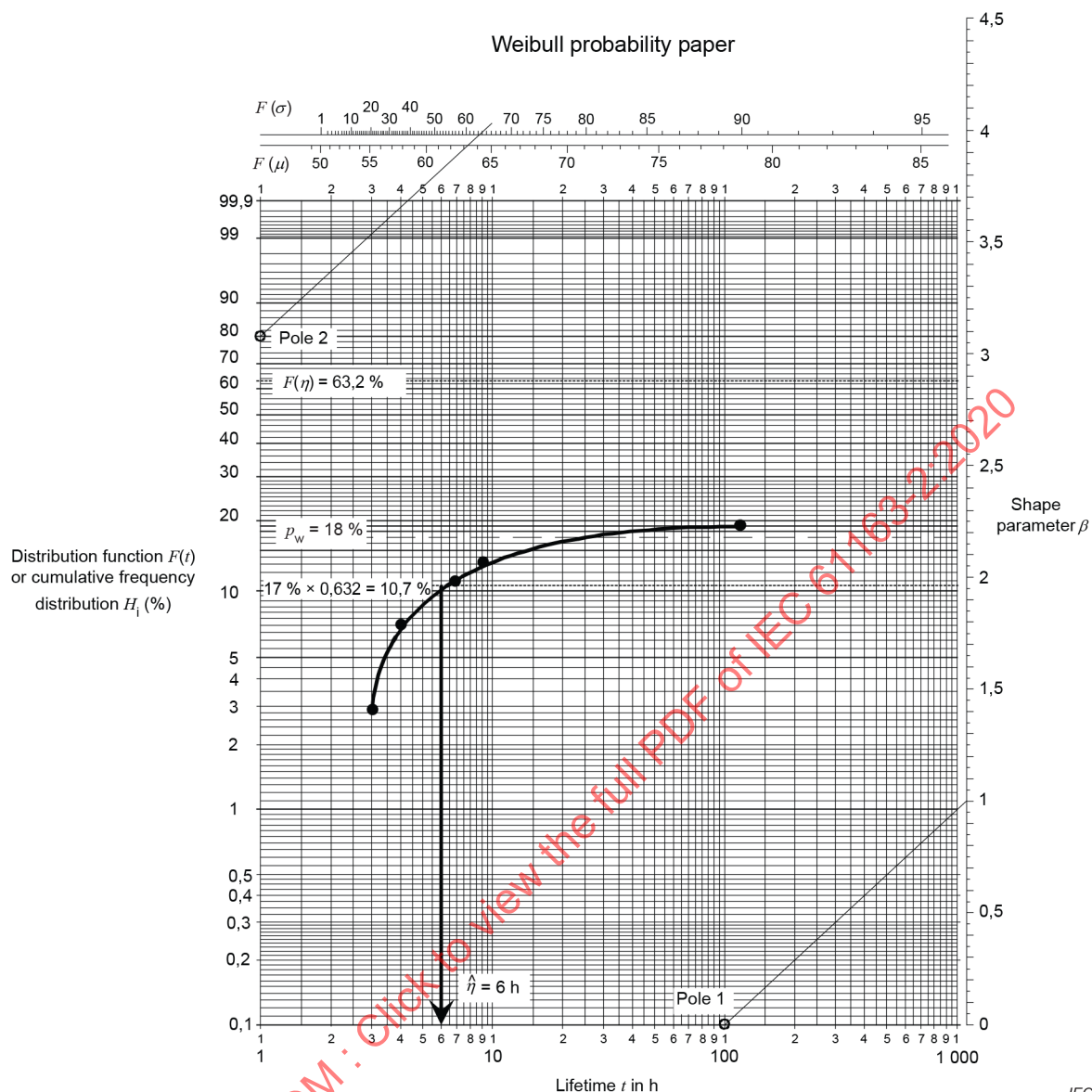


Figure B.1 – Weibull plot of the bump screening

The bump process was reduced to a sample as soon as the production processes were improved. The heat during screening is kept for safety reasons.

B.3 Connectors

For this example, it is assumed that an equipment manufacturer has received a batch of crimp connectors where the pull test used in equipment production to verify the adjustment of the crimping tool shows a small but significant percentage that does not fulfil the required pull test (80 % of the tensile strength of the wire) which is above the operating conditions.

Contact with the manufacturer confirms that the problem is caused by the connectors. Due to variations in a batch of raw material (rolled metal plate), the tolerances of the stamped and formed connector, and the yield strength of the material vary. The equipment manufacturer is not able to return the batch since this would stop his production. The flaw is known to be a deviation in the size of the connector and variations in the properties of the metal. This causes variations in the crimping force resulting in risk of corrosion (oxidation and corrosive gases may penetrate the crimp) which causes a high resistance or intermittent connection.

This effect is known to happen with time, especially in a hot and corrosive environment. Vibrations accelerate the process. The connectors are used in electronic equipment for ships, where both vibration and a corrosive environment will be present.

Stress types such as dry heat, corrosive gases and vibrations to accelerate the failures could be used, but this would take too long. Instead it has been decided to employ the pull test as a screening process. The equipment is already available and so the screening can start immediately. Since a good, i.e. gas tight crimp connection is able to withstand 80 % of the tensile strength of the wire itself, this can be used as the stress level. For a good crimp connection, the screening is not destructive and it is decided to perform the pull test immediately after the crimp process.

In this case, a sample of 50 connectors is taken and a pull test performed. The force at which the wire is pulled out of the connector crimp is noted. The force is limited to 80 % of the tensile strength of the wire. It turns out that 18 % of the connectors fail. They all fail at a force that is between 10 % and 50 % of the tensile strength. Since 80% is the upper limit of the force it is decided to use that as the reliability stress screening level. In this case, the duration is given (one pull per wire). The pull out force of the sample is plotted on Weibull paper to find the strength parameters of the weak population (see Figure B.2). A failure analysis of the failed connectors confirms that the structure and strength of the base metal of the connector element is not as specified.

The pull test is performed 100 % on all the crimped connectors during two days. During this time, it turns out that the flawed connectors are found more or less in sequence in the packages.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61163-2:2020

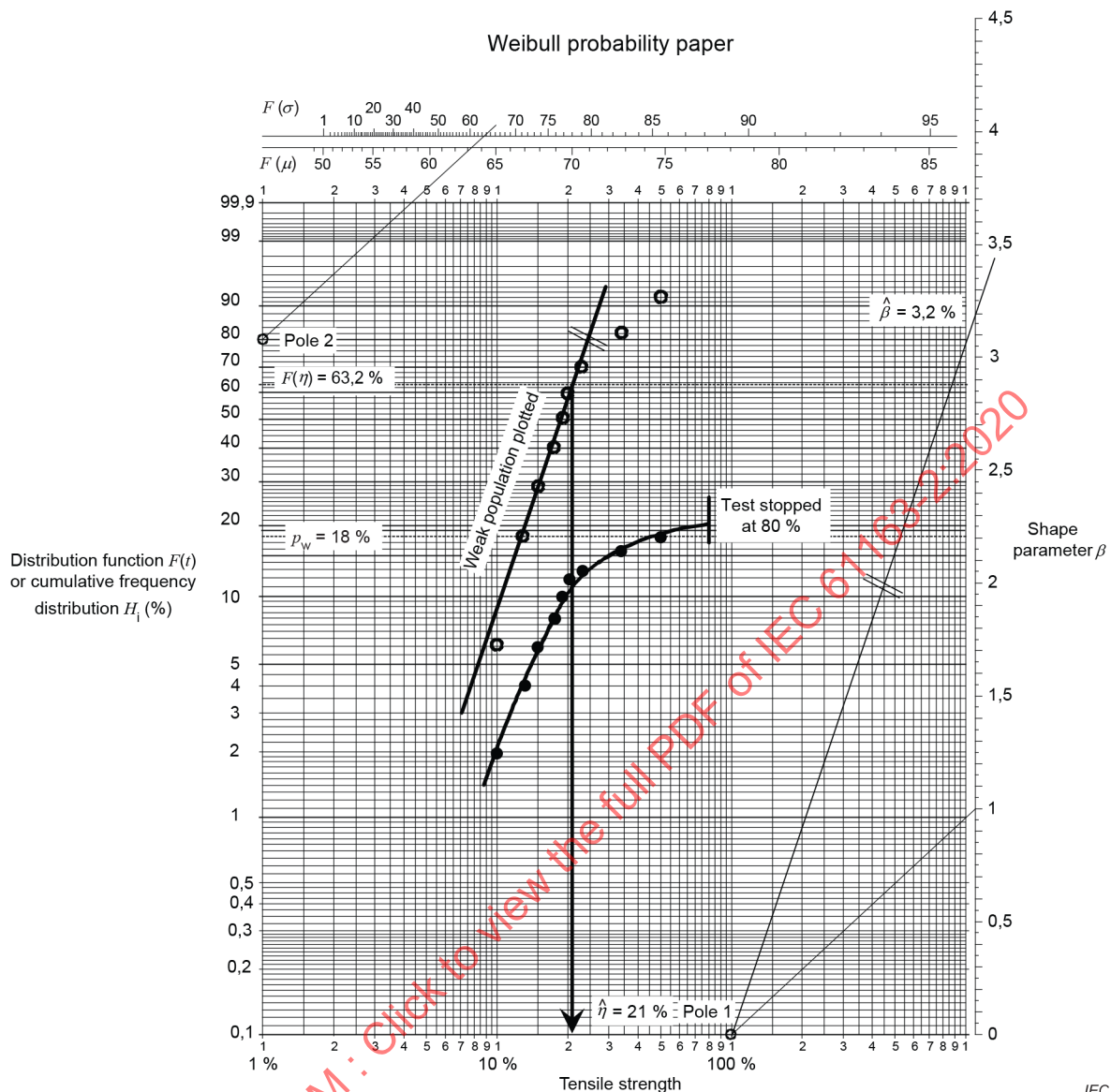


Figure B.2 – Weibull plot of the pull test

Based on statistical sampling theory it is decided to reduce the pull test to one out of each 10 connectors. If a failure is observed, the next connectors are pull tested 100 % until 20 connectors in sequence are faultless, after which sampling is continued. The percentage of failures is sent to the component manufacturer who is able to locate more closely the deficient connectors in the lot. Therefore, it is possible to release part of the lot for normal production, with a pull test on the first and the last connectors in each box.

The connector manufacturer is soon able to send a new lot without any flawed connectors and the reliability stress screening process is discontinued. However, the pull test is used each day to check that adjustment of the crimping tool is maintained.

Bibliography

- [1] IEC 61163-1, *Reliability stress screening – Part 1: Repairable assemblies manufactured in lots*
- [2] IEC 62506, *Methods for product accelerated testing*
- [3] Greg K. Hobbs, *Accelerated Reliability Engineering: HALT and HASS*, Hobbs Engineering Corporation, available at www.hobbsengr.com
- [4] Levy, Paul S & Lemeshow, Stanley, *Sampling of Populations: Methods and Applications*, Wiley Series in Probability and Statistics, Wiley-Interscience 2008
- [5] IEC 61014, *Programmes for reliability growth*
- [6] IEC 61650, *Reliability data analysis techniques – Procedures for comparison of two constant failure rates and two constant failure (event) intensities*
- [7] IEC 62402, *Obsolescence management*
- [8] Tang, L.C., Sun, Y.S., Goh, T.N., & Ong, H.L. *Analysis of step-stress accelerated-life-test data: a new approach*,. IEEE Transactions Reliability Volume:45, Issue: 1, 1996, p. 69-74
- [9] IEC 62506, *Methods for product accelerated testing*
- [10] IEC 61709, *Electric components – Reliability – Reference conditions for failure rates and stress models for conversion*
- [11] IEC 61649, *Weibull analysis*
- [12] Benedetto, John J. & Ferreira, Paulo J.S.G. (Eds.), *Modern Sampling Theory: Mathematics and Applications*, , Birkhauser Boston Inc, 2001
- [13] R.L. Mason, R.GF Gunst, & J L Hess , *Statistical design and analysis of experiments with application to engineering and science*. Wiley,2003
- [14] K.Krishnamoorthy and Jie Peng. "Some properties of the Exact and Score Methods for Binomial Proportion and Sample Size Calculation" Communications in Statistics – Simulation and Computation,36: pp 1171 1186, (2007)
- [15] ISO 18414, *Acceptance sampling procedures by attributes – Accept-zero sampling system based on credit principle for controlling outgoing quality²*
- [16] IEC 60605-6, *Equipment reliability testing – Part 6: Tests for the validity and estimation of the constant failure rate and constant failure intensity*
- [17] Finn Jensen & Niels Erik Petersen, *Burn-In: An Engineering Approach to the Design and Analysis of Burn-In Procedures*, Wiley-Blackwell 1982
- [18] *Engineering Failure Analysis*, Journal by Elsevier

- [19] *Journal of Failure Analysis and Prevention*, Journal by Springer
- [20] Otegui, Jose Luis , *Failure Analysis, Fundamentals and Applications in Mechanical Components*, , Springer 2014
- [21] Hani M. Tawancy, Anwar Ul-Hamid & Nureddin M. Abbas, *Practical Engineering Failure Analysis*, CRC Press 2004
- [22] IEC 62740, *Root cause analysis (RCA)*
- [23] IEC 60300-3-5, *Dependability management – Part 3-5: Application guide – Reliability test conditions and statistical test principles*
- [24] R. Lyman Ott & Micheal T. Longnecker, *An Introduction to Statistical Methods and Data Analysis*, Brooks Cole 2010
- [25] Glen Cowan, *Statistical Data Analysis*, Oxford Science Publications 1998
- [26] Edward Staples Smith , *Control Charts: An Introduction to Statistical Quality Control*, , Mcgraw Hill, 1947
- [27] Ton de Waal, Jeroen Pannekoek & Sander Schottus, *Handbook of Statistical Data Editing and Imputation*, , Wiley 2011
- [28] Marvin Rausand, *Risk Assessment: Theory, Methods, and Applications*, , Wiley 2011
- [29] J Jones, *A toolkit for parametric drift modelling of electronic components*, Reliability Engineering & System Safety, Volume 63, Issue 1, 1999, Pages 99–106
- [30] IEC 60050-192, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 192: Dependability* (available at <http://www.electropedia.org>)
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	32
INTRODUCTION.....	34
1 Domaine d'application	35
2 Références normatives	35
3 Termes et définitions	35
4 Description du déverminage sous contraintes (RSS)	37
5 Types de RSS	38
5.1 Généralités	38
5.2 Déverminage sous contraintes constant.....	39
5.3 Déverminage sous contraintes progressif.....	39
5.4 Déverminage sous contraintes hautement accéléré (HASS).....	39
6 Gestion du RSS	40
6.1 Planification	40
6.2 Finalisation du RSS	40
7 Conception du RSS	41
7.1 Généralités	41
7.2 Propriétés physiques de la défaillance	41
7.3 Procédures de déverminage communes.....	42
7.4 Caractéristiques d'une procédure de déverminage correctement conçue	43
7.5 Evaluation du déverminage.....	43
7.6 Choix d'échantillons.....	43
7.7 Définir la durée de RSS	44
8 Gestion d'un programme de RSS.....	45
8.1 Ressources.....	45
8.2 Surveillance du déroulement du RSS	45
9 Analyses de RSS.....	45
9.1 Généralités	45
9.2 Analyse de rentabilité	46
9.3 Identification des défaillances précoces	46
9.4 Analyse des données de sortie du RSS	46
Annexe A (informative) Analyse des données	48
A.1 Symboles.....	48
A.2 Analyse de Weibull	48
A.3 Conception d'un déverminage sous contraintes.....	49
Annexe B (informative) Exemples d'application des processus de déverminage sous contraintes.....	54
B.1 Généralités	54
B.2 Transformateurs	54
B.3 Connecteurs	56
Bibliographie.....	59
Figure A.1 – Estimation de η et β	48
Figure A.2 – Nomographe de la loi binomiale cumulée (Larson).....	50
Figure A.3 – Exemple de représentation graphique de Weibull.....	52

Figure B.1 – Représentation graphique de Weibull du déverminage par chocs.....	56
Figure B.2 – Représentation graphique de Weibull de l'essai d'arrachement.....	58
Tableau 1 – Types de déverminages communs et types de défauts classiques induits par un RSS	42
Tableau A.1 – Résultats de l'essai de RSS	51
Tableau A.2 – Résultats du déverminage pour les populations fragiles	53

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61163-2:2020

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DÉVERMINAGE SOUS CONTRAINTES –

Partie 2: Composants

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 Norme internationale IEC 61163-2 a été établie par le comité d'études 56 de l'IEC: Sûreté de fonctionnement.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1998. Cette édition constitue une révision technique.

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

- a) cette version du document a fait l'objet d'une refonte intégrale et a été réorganisée par rapport à la version précédente.

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

FDIS	Rapport de vote
56/1875/FDIS	56/1887/RVD

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

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 61163, publiées sous le titre général *Déverminage sous contraintes*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

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

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61163-2:2020

INTRODUCTION

Même s'il a été initialement développé pour établir les caractéristiques des composants fabriqués (contrôle), le déverminage sous contraintes (RSS, *reliability stress screening*) peut être utilisé pour éliminer les composants les plus fragiles parmi une population de composants. Ce type de déverminage peut être réalisé lorsque le processus de fabrication des composants est difficile à contrôler, ou pour d'autres motifs, par exemple lorsqu'il est nécessaire de choisir (requalifier) les composants pour fonctionner dans des conditions de fonctionnement plus sévères que la normale. Il est également réalisé lorsque l'application exige des spécifications plus strictes et qu'aucun plan d'action de substitution n'est disponible.

Habituellement, l'utilisation du RSS constitue une mesure temporaire, lorsqu'il est nécessaire d'éviter les défaillances précoces dans un ensemble de conditions spécifiques comme décrit ci-avant.

Le RSS s'inscrit comme un outil efficace pour l'identification et la suppression des défauts dus à une mauvaise conception des composants et à des défauts de fabrication.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61163-2:2020

DÉVERMINAGE SOUS CONTRAINTES –

Partie 2: Composants

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61163 fournit des recommandations relatives aux techniques et procédures de RSS pour composants électriques, électroniques et mécaniques. Le présent document est de nature procédurale. En raison de l'évolution rapide de l'industrie des composants, elle n'est pas, ni ne peut être, exhaustive au regard de la technologie des composants.

Le présent document est prévu pour:

- a) les fabricants de composants, en tant que ligne directrice;
- b) les utilisateurs de composants, en tant que ligne directrice pour la négociation relative aux exigences de RSS avec les fabricants de composants;
- c) permettre la planification d'un processus de RSS interne, destiné à satisfaire aux exigences de fiabilité, ou pour admettre la requalification des composants pour des environnements spécifiques mis à niveau;
- d) les sous-traitants qui proposent le RSS comme un service, en tant que ligne directrice.

Le présent document n'a pas pour but de fournir des plans d'essai pour soumettre des composants spécifiques à l'essai ni de délivrer des certificats de conformité pour des lots de composants.

L'usage d'une analyse bimodale de Weibull visant à choisir et optimiser un processus de RSS, sans avoir à évaluer la fiabilité ni la durée de vie de toutes les entités, fait l'objet d'une description.

2 Références normatives

Le présent document ne contient aucune référence normative.

3 Termes et définitions

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

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

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

3.1

contrôle

conditions (par exemple, niveau et durée des contraintes) utilisées pour l'extraction des entités non conformes d'une population donnée

3.2

déverminage

processus exécuté pour détecter et éliminer les entités non conformes ou susceptibles de présenter des défaillances précoces

Note 1 à l'article: Le déverminage peut utiliser des contraintes représentatives ou augmentées.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-09-11, modifiée – Suppression du mot "essai de" dans le terme; remplacement de "essai effectué" par "processus exécuté" dans la définition; et utilisation de "déverminage" à la place de "essai" dans la Note 1 à l'article.]

3.3

RSS

déverminage sous contraintes

processus de détection des défauts par application de contraintes d'environnement ou de fonctionnement visant à les transformer en défaillances détectables

Note 1 à l'article: Le RSS est conçu dans le but de transformer rapidement les défauts en défaillances détectables. Un traitement de vieillissement conçu spécifiquement dans le but d'établir les caractéristiques n'est pas un processus de RSS et sort donc du domaine d'application du présent document.

Note 2 à l'article: L'abréviation "RSS" est dérivée du terme anglais développé correspondant "reliability stress screening".

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-09-19, modifiée – Ajout de la Note 1 à l'article.]

3.4

défectuosité <d'une entité>

imperfection pouvant donner lieu à une défaillance

Note 1 à l'article: Dans ce cas, une imperfection est une caractéristique physique du composant qui entraîne une défaillance de fonctionnement de la manière exigée.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-04-03, modifiée – Ajout de la Note 1 à l'article.]

3.5

période de défaillance précoce

intervalle de temps au début de la vie d'une entité au cours duquel l'intensité instantanée de défaillance, pour une entité réparable, ou le taux instantané de défaillance, pour une entité non réparable, décroît de façon importante en fonction du temps

Note 1 à l'article: La décroissance considérée comme importante dépend de l'application.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-02-28]

3.6

entité fragile

entité dont la probabilité de défaillance est élevée, au début de la vie de l'entité, en raison de la présence d'une défaut

3.7

population fragile

sous-ensemble de la population d'entités totale, uniquement constituée des entités fragiles

3.8

population robuste

sous-ensemble de la population d'entités totale, uniquement constituée des entités non fragiles

4 Description du déverminage sous contraintes (RSS)

Le processus de RSS est utilisé pour détecter les défauts dans une population d'entités, en général des composants, menant à leur extraction ultérieure de la population concernée. L'extraction de ces composants permet d'atteindre rapidement le niveau de fiabilité attendu pour la population sur la période de durée de vie utile.

Cette extraction peut généralement avoir lieu lorsque certaines entités ont été identifiées comme défectueuses, mais que la rectification de la conception ou du processus de production de l'entité est chronophage et qu'il est nécessaire d'utiliser les entités existantes immédiatement. Il s'agit d'un tri classique, pour lequel le RSS est utilisé pour provoquer la défaillance des entités défectueuses, de sorte à pouvoir les identifier au sein de la population ou du lot.

Le RSS peut également être utilisé pour trier les entités selon des conditions de fonctionnement ou des caractéristiques fonctionnelles spécifiques. Il est alors utilisé pour choisir les entités répondant à une exigence supérieure à celle spécifiée à l'origine au sein d'un lot répondant à une exigence inférieure à celle spécifiée à l'origine, par exemple le déverminage de composants concernant la stabilité de température, ou d'autres facteurs affectant la fiabilité.

En général, le RSS est introduit en réponse à une ou plusieurs des situations suivantes:

- les exigences client spécifient l'utilisation du déverminage;
- les performances sur site désignent un problème lié à des défaillances produit précoces;
- le processus de production induit un risque de défauts cachés;
- pour réduire le doute au moment du lancement d'un nouveau produit ou processus;
- pour choisir parmi un éventail de différents composants de même fonction, mais utilisant des technologies/techniques différentes;
- lorsqu'il est nécessaire de différencier certaines entités pour répondre à une spécification plus stricte ou supérieure.

La technique de RSS est réalisée par l'application de conditions d'environnement ou de fonctionnement spécifiques visant à imposer une contrainte à une population d'entités. La contrainte, ou combinaison de contraintes, appliquée présente généralement des conditions d'environnement et de fonctionnement supérieures aux contraintes en conditions normales de fonctionnement. Les contraintes généralement utilisées sont liées à la température, l'humidité, la vibration, l'accélération, la contrainte électrique et d'autres conditions similaires. Le déverminage peut s'effectuer selon une ou plusieurs conditions, définies à des niveaux supérieurs à la normale.

Le déverminage s'effectue au niveau de l'entité, donc généralement au niveau du composant, mais peut inclure des lots consécutifs qui contiennent de nombreux composants. Le RSS des produits est couvert par [1]¹.

Le déverminage provoque la défaillance rapide des composants défectueux, pour leur identification au sein de la population. Ces composants sont ensuite extraits de la population. Les composants restants sont désignés comme étant déverminés. Le processus est similaire à une opération de tri, dans laquelle le RSS serait utilisé pour diviser la population en deux ensembles distincts, le premier présentant une défaillance provoquée par le déverminage et le second étant intact. Dans certains cas, le déverminage porte sur l'échantillon d'un lot, afin de déterminer si ce dernier comporte des composants fragiles.

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

NOTE 1 Si l'intensité du déverminage est trop élevée, certains composants non défectueux, voire l'intégralité de la population (en cas de déverminage extrême), peuvent présenter des défaillances. Cela peut également les détériorer sans entraîner de défaillance, mais en réduisant leur durée de vie utile. Aussi, il est important de concevoir la procédure de déverminage avec soin, en fonction des propriétés physiques et matérielles du composant ciblé par le déverminage et selon les motifs du déverminage.

Il convient de ne pas utiliser le RSS en tant que procédure normale pour garantir la fiabilité de composants individuels. La technique de RSS peut toutefois améliorer la fiabilité effective d'une population ou d'un système par l'élimination des composants défectueux qui sont les plus susceptibles de provoquer une défaillance.

Il convient d'évaluer soigneusement le coût d'une procédure de RSS et de n'appliquer le déverminage que si les avantages potentiels sont supérieurs au coût.

Lorsque les processus d'assemblage d'une entité finie qui comprend le composant, et sa manipulation (dommage par DES, contamination, etc.) provoquent des défaillances précoces, le RSS n'est pas efficace. Il convient alors de ne pas l'exécuter. Toutefois, il peut être possible de procéder au RSS de l'entité finie [1].

NOTE 2 En l'absence de défaillances précoce, l'utilisation du RSS n'est pas adaptée. Si nécessaire, les défaillances peuvent être réduites par d'autres méthodes, par exemple une modification de la conception [5]. Les défaillances précoces peuvent être identifiées par les techniques de [6].

NOTE 3 Si les défaillances pertinentes peuvent être détectées sans utiliser l'entité sur une période prolongée, l'utilisation du RSS n'est pas adaptée. La détection des défaillances pour le temps de fonctionnement zéro s'effectue par une mesure paramétrique, ou par l'utilisation de techniques non invasives (rayons X, microscopie acoustique (SAM), etc.).

NOTE 4 L'utilisation du RSS pour la mise à niveau des spécifications d'une population de composants peut entraîner des problèmes. Par exemple, une anomalie logistique peut survenir lorsque des composants déverminés de manière similaire ne sont plus disponibles par la suite. Ce risque peut être atténué par l'exécution du RSS sur un nombre suffisant de composants pour la réparation du système tout au long de sa durée de vie en service, ou en s'assurant que la documentation du système est suffisante pour maîtriser l'approvisionnement des composants, de sorte que tous les composants de rechange soient déverminés de manière similaire (voir [7]).

Il est parfois nécessaire d'entreprendre d'autres actions, en complément du RSS, pour satisfaire aux exigences. La plupart des principes d'amélioration de la fiabilité décrits dans [5] s'appliquent. En général, la conception, le processus de fabrication ou l'utilisation des composants peuvent devoir faire l'objet de modifications. Il peut également être nécessaire d'adopter une stratégie d'évitement des modes défaillances afin de pouvoir éliminer les causes de défaillance ou, au minimum, les gérer lorsqu'elles surviennent, par exemple par la redondance.

Dans certains cas, le déverminage sous contraintes ne produit pas les résultats attendus; une analyse approfondie est alors exigée pour comprendre la situation. Cela peut notamment se produire lorsque l'application d'une contrainte présente des effets qui n'ont pas été anticipés par l'analyse initiale des propriétés physiques de la défaillance (voir 7.2). Dans ce cas, une refonte des contraintes appliquées s'avère nécessaire pour affiner le processus.

Des exemples d'applications de RSS sont donnés à l'Annexe B.

5 Types de RSS

5.1 Généralités

Le RSS se décline en plusieurs types: le déverminage sous contraintes constant, le déverminage sous contraintes progressif et le déverminage sous contraintes hautement accéléré (HASS, *highly accelerated stress screening*).

Tous ces types de déverminages visent à provoquer des défaillances spécifiques sur l'entité. Les défaillances en question sont celles qui auraient empêché l'entité de répondre aux exigences de fiabilité en service.

5.2 Déverminage sous contraintes constant

Le déverminage sous contraintes constant est une procédure de déverminage qui utilise des contraintes d'environnement et/ou de fonctionnement constantes sur toute la durée du processus.

5.3 Déverminage sous contraintes progressif

Le déverminage sous contraintes progressif est une procédure de déverminage qui utilise des contraintes d'environnement et/ou de fonctionnement variables selon des intervalles planifiés et dont l'intensité augmente habituellement au cours du processus.

Le déverminage sous contraintes progressif est généralement utilisé pour réduire les temps de processus et pour évaluer les taux de défaillance potentielle à différents niveaux de contraintes. Par conséquent, il est parfois utilisé lors de la phase de planification du RSS pour déterminer ces niveaux.

5.4 Déverminage sous contraintes hautement accéléré (HASS)

Le déverminage sous contraintes hautement accéléré (HASS) est une procédure de déverminage combinée à un essai aux limites hautement accéléré (HALT, *highly accelerated limit test*; voir l'IEC 62506 [2], [3]). Il est nécessaire de procéder à un HALT avant de pouvoir démarrer une procédure de HASS.

NOTE Le HALT utilise des niveaux de contraintes très élevés (en général, des températures extrêmes, une brusque variation de température, et des vibrations ou un choc mécaniques). Le HALT est conduit sur un faible échantillon d'entités. Les résultats du HALT portent généralement sur les limites de fonctionnement hautes et basses, par exemple les températures auxquelles l'entité cesse de fonctionner, mais entre lesquelles elle recouvre ses fonctions après avoir été ramenée à une température de fonctionnement normale. En outre, le HALT identifie les limites de destruction, c'est-à-dire les températures qui induisent la défaillance définitive de l'entité (elle ne fonctionne plus, même lorsque la température revient à la normale). Dans certains cas, ces limites ne peuvent pas être définies pour la plage de températures associée à la technologie de l'entité. Ces informations sont utilisées comme base pour la définition de la procédure de HASS.

A la différence du HALT, le HASS est conçu comme un processus continu, exécuté soit sur l'ensemble de la production (déverminage à 100 %), soit sur un échantillon de la production ou d'un lot.

Le processus de HASS est généralement défini comme une brusque variation de température entre la limite de fonctionnement supérieure, moins une certaine valeur, et la limite de fonctionnement inférieure, plus la même valeur. En l'absence de limites de fonctionnement identifiées, un niveau de seuil maximal adapté à la technologie de l'entité est choisi. En général, l'intensité de déverminage d'un HASS est ajustée en augmentant ou en réduisant le nombre de cycles de température. Le nombre de cycles du HASS peut être déterminé et optimisé à l'aide de la procédure décrite à l'Article A.3 et dans [11].

Le HASS reste généralement dans la plage de fonctionnement des entités, pour assurer la surveillance continue de la fonction des entités. Les limites de fonctionnement peuvent toutefois être dépassées lorsque les entités ciblées par le HASS ne sont pas surveillées au cours du déverminage. Il convient que les niveaux de contraintes restent inférieurs aux limites de destruction pour les entités valides. A l'issue du HASS, il convient de soumettre les entités à un essai de fonctionnement. Dans la mesure où le HASS demande du temps et des ressources et où l'usage d'un équipement spécialisé est exigé, le HASS est souvent réalisé sur un échantillon de la production.

6 Gestion du RSS

6.1 Planification

Pour planifier un RSS, il est nécessaire d'identifier ses objectifs. Ceux-ci diffèrent légèrement en fonction des raisons qui motivent l'exécution du RSS. Les objectifs du RSS influencent le type de déverminage appliqué (voir 7.3).

Il convient que le plan définisse les objectifs et critères de réussite du RSS.

Il convient que le plan englobe toutes les composantes du processus de RSS et qu'il soit intégré à l'ensemble des plans d'essai de fabrication. Il convient que le plan constitue un outil pratique d'identification des ressources exigées pour mener le RSS.

Au minimum, il est nécessaire que le plan de RSS comporte les éléments suivants:

- logigramme global du processus;
- calendrier de planification indiquant les dates d'exécution des procédures de RSS et le début du RSS;
- contraintes utilisées;
- mode d'application des procédures de déverminage à l'entité (paramètres de RSS, séquence des procédures de déverminage, combinaison des procédures de déverminage);
- processus de collecte de données et techniques de surveillance des entités pendant le RSS;
- installations de déverminage et équipements utilisés;
- méthodes de modification du RSS en fonction de la défaillance des entités;
- principes fondamentaux de la prise de décisions relative aux défaillances;
- exigences de RSS pour les sous-traitants/fournisseurs;
- organisation du RSS et responsabilités de gestion;
- personnel et responsabilités pour les différentes fonctions du processus de RSS.

Pour être performant, il convient que le logigramme du RSS fonctionne en boucle fermée (c'est-à-dire qu'il intègre un retour d'informations sur les résultats).

Les livrables du processus de RSS sont les suivants:

- rapports de défaillance;
- données sur le rendement;
- données sur les performances du RSS.

Ces livrables sont analysés au regard des tendances et de l'efficacité du déverminage.

6.2 Finalisation du RSS

La finalisation du RSS se justifie généralement par la transmission d'une importante quantité de données d'observation sans défaillance, ce qui suggère que les composants fragiles ont été éliminés ou considérablement réduits.

RSS peut être validé comme un processus permanent que dans les cas où les composants doivent être déverminés selon la performance d'une caractéristique spécifique (limite de température de fonctionnement réelle, par exemple), que les composants normalisés du fournisseur ne satisfont pas aux exigences d'utilisation, ou lorsqu'il s'agit d'une obligation contractuelle.

7 Conception du RSS

7.1 Généralités

La conception d'un déverminage efficace constitue un processus empirique pouvant s'adapter aux processus de RSS normalisés. Cela ne signifie pas que certaines procédures de déverminage ne peuvent pas être raisonnablement efficaces pour des configurations d'entités similaires. Il convient toutefois, à titre de règle, qu'une procédure de déverminage individuelle soit adaptée à l'entité déverminée, en tenant compte à la fois des caractéristiques de l'entité et des types de défauts anticipés.

Un déverminage efficace provoque les défaillances exigées le plus rapidement possible, sans déclencher d'autres mécanismes de défaillance qui ne se produisent généralement pas en fonctionnement normal. Il est également nécessaire que le déverminage soit rentable. Il existe souvent un compromis entre le coût et l'efficacité du déverminage. Il peut être nécessaire d'adopter un processus d'optimisation pour choisir l'ensemble de procédures de déverminage le plus efficace.

Un ensemble spécifique de conditions de déverminage exige un certain temps d'application avant de donner des résultats. Le niveau de contrainte détermine la durée d'application nécessaire. En général, une contrainte supérieure implique une durée réduite.

NOTE Il est possible d'utiliser le niveau de contrainte maximal approprié, mais il est important de vérifier que la combinaison types-niveaux de contraintes retenue ne réduit pas la durée de vie des composants robustes. A cet effet, un échantillon de composants peut par exemple être exposé aux contraintes pour une durée 10 fois supérieure à la durée du RSS prévu.

Dans certaines circonstances, il est préférable d'utiliser un déverminage sous contraintes progressif [8], pour lequel les défaillances à chaque niveau de contraintes sont étudiées et les temps de palier réduits si nécessaire. C'est notamment le cas en l'absence de défaillance aux niveaux de contraintes inférieurs (il est possible que la configuration initiale ne soit pas assez sévère pour induire une défaillance, ou qu'un autre type de défaillance survienne, exigeant alors une étude plus poussée).

7.2 Propriétés physiques de la défaillance

Avant de pouvoir définir une quelconque procédure de déverminage, il est nécessaire d'établir une vision précise de la manière dont les entités à l'étude peuvent se révéler défaillantes. A cet effet, il est nécessaire de collecter des informations relatives aux modes de défaillance. Les informations relatives aux modes de défaillance sont disponibles auprès de plusieurs sources, la plus fiable d'entre elles étant le fabricant de l'entité.

NOTE 1 Les modes de défaillance pertinents au regard de l'objectif global uniquement sont étudiés.

Chaque mode de défaillance étudié peut survenir du fait de différents mécanismes de défaillance, lesquels reposent sur les propriétés physiques de base de l'entité à l'étude.

Chaque mécanisme de défaillance est déclenché par plusieurs facteurs contributifs, qui entraînent son occurrence à une fréquence particulière. Pour lancer le mécanisme, il est nécessaire d'atteindre un niveau donné de chacun de ces facteurs contributifs. Le mécanisme s'exécute donc à différentes fréquences, en fonction de la variation des niveaux des facteurs contributifs.

EXEMPLE La corrosion se traduit souvent par une défaillance en circuit ouvert, due à la corrosion des conducteurs. La corrosion est associée à un ensemble particulier de facteurs contributifs qui seront présents pour qu'elle apparaisse (comme la moisissure et les contaminants ioniques).

Pour élaborer un déverminage efficace, il est nécessaire de bien connaître les mécanismes de défaillance. Les conditions de déverminage peuvent ainsi induire le déclenchement des mécanismes de défaillance exigés, à une fréquence suffisante pour induire rapidement le mode de défaillance correspondant.

NOTE 2 Dans la mesure où les contraintes ciblent spécifiquement les problèmes identifiés, l'application arbitraire de contraintes de déverminage ne constitue pas une stratégie efficace.

NOTE 3 Les déverminages les plus efficaces peuvent exiger une combinaison de conditions de déverminages, dont l'ordre d'application peut jouer un rôle important.

Une simulation peut être utilisée pour modéliser l'effet d'un déverminage avant son application à l'entité, pour pouvoir en évaluer l'efficacité. Le cas échéant, les propriétés physiques des modèles de défaillance peuvent être utilisées à cet effet.

Par ailleurs, plusieurs équations empiriques ont été développées pour la modélisation générale des effets des contraintes applicables. Certaines de ces équations générales sont décrites dans [9]. Les équations spécifiques aux types de composants électriques peuvent être consultées dans [10].

7.3 Procédures de déverminage communes

Il existe plusieurs types de procédures de déverminage communes, utilisées avec un certain degré de réussite. Ces procédures de déverminage communes (contraintes) sont décrites dans le Tableau 1.

**Tableau 1 – Types de déverminages communs
et types de défauts classiques induits par un RSS**

Contrainte	Types de défauts induits
Cycles thermiques	Dérive des paramètres du composant Défaut d'étanchéité Mauvais coefficient thermique Relaxation des contraintes Desserrage des connexions/pièces Fissures
Vibration	Contamination par des particules Cristaux oscillateurs défectueux Mauvaise fixation des pièces internes Mauvaise sécurisation des pièces de masse élevée Défectuosité mécanique Desserrage des connexions/pièces Problème de montage des pièces
Combinaison de cycles thermiques et vibrations	Tous les mécanismes soumis à des cycles thermiques et vibrations Interaction des mécanismes
Tension élevée	Connexion en court-circuit
Humidité	Propriétés d'étanchéité Contamination hygroscopique Stabilité du circuit Corrosion
Température élevée	Dégradation des performances Réaction chimique
Accélération	Fissures Défauts mécaniques
Essai de pression de gaz	Fuites et défauts d'étanchéité
Cycles d'alimentation	Réponse de courant d'appel Transitoires du circuit

EXEMPLE "Combinaison de cycles thermiques et vibrations": Les défauts répertoriés surviennent essentiellement pour deux raisons: d'une part, certains types de défauts sont sensibles aux contraintes de température et de vibration; d'autre part, il existe un effet synergique entre les cycles thermiques et les vibrations aléatoires. L'effet synergique peut se manifester lorsque des contraintes de cycles thermiques et de vibration aléatoire sont appliquées simultanément (méthode préférée) ou de manière séquentielle. En cas de séquence, les meilleurs résultats sont généralement obtenus avec la séquence cycles thermiques-vibrations-cycles thermiques.

7.4 Caractéristiques d'une procédure de déverminage correctement conçue

Un déverminage efficace:

- déclenche rapidement les défauts concernés;
- n'induit pas de nouveaux types de défauts;
- déclenche une proportion adéquate de défauts intrinsèques;
- n'introduit aucune modification de conception sur la base de fausses alarmes;
- n'a pas d'incidence importante sur la durée de vie de l'entité (la consommation de la durée de vie utile est réduite autant que possible).

7.5 Evaluation du déverminage

L'approche adoptée au cours de l'élaboration des conditions de déverminage consiste à soumettre un échantillon réduit d'entités à une situation expérimentale, pour assurer la défaillance par la stimulation des défauts.

Au cours de cette évaluation, les entités sont soumises au déverminage choisi pendant une durée suffisante pour pouvoir faire apparaître un nombre pertinent de défaillances liées à des défauts. Le nombre de défaillances qu'il est nécessaire d'observer au cours de cette évaluation pour attester de l'efficacité du déverminage est relatif à la taille hypothétique de la population fragile contenue dans l'échantillon et aux niveaux de confiance exigés. Si l'évaluation ne génère pas le nombre de défaillances attendu dans les délais prévus, les niveaux de contraintes peuvent être modifiés. Une analyse bimodale de Weibull peut être utilisée pour analyser et évaluer un déverminage [11]. Noter que cette évaluation du déverminage peut également être utilisée pour définir la durée du RSS.

7.6 Choix d'échantillons

L'échantillonnage est un processus de contrôle statistique normalisé qui permet à l'utilisateur de déterminer l'homogénéité ou la qualité des entités de sortie sur la base de l'essai d'échantillons d'entités.

Lorsqu'un RSS vise à éliminer tous les composants fragiles, l'échantillon doit être de 100 % (intégral). En d'autres termes, il est nécessaire que tous les composants à utiliser soient soumis au déverminage. Toutefois, un déverminage à 100 % des composants ne garantit pas une identification à 100 % des défauts.

Un déverminage à 100 % présente l'avantage de garantir un niveau élevé de déverminage et extraction des composants fragiles. Il est donc généralement recommandé de commencer avec un déverminage à 100 % sur les premiers lots puis de basculer, après diminution du nombre de composants fragiles, vers un déverminage de lots à l'aide d'échantillons.

Lorsque le déverminage vise à détecter, avec un certain degré de fiabilité, la présence d'un problème au sein d'un lot donné ou d'une ligne de production, il est nécessaire de choisir la procédure d'échantillonnage sur la base des risques de non-détection d'un pourcentage donné d'entités non conformes.

Il existe trois méthodes d'échantillonnage communes principales: l'échantillonnage simple, l'échantillonnage double et l'échantillonnage en chaîne (communément appelé méthode de Wald). Le choix d'une méthode d'échantillonnage appropriée exige l'estimation d'une proportion de la population et de l'intervalle de confiance correspondant. Bien que la méthode de Wald soit généralement utilisée pour calculer l'intervalle de confiance, elle n'est pas exempte de toute

défectuosité. Il convient d'étudier également certaines procédures alternatives, comme la méthode de Clopper-Pearson ou la méthode de Wilson [4], [12], [13], [14]. Pour plus d'informations sur l'échantillonnage, voir [15].

7.7 Définir la durée de RSS

Le réglage de la durée du RSS dépend en partie du temps de fonctionnement réel jusqu'à l'apparition d'une défaillance du type observé. Ce temps peut être identifié par des défaillances sur site et des essais en laboratoire, ou estimé par une appréciation technique complétée par des essais, analysés à l'aide des méthodes bimodales de Weibull [11].

Il convient de déterminer la durée d'application du déverminage après avoir choisi le déverminage adapté. Il convient également d'évaluer le déverminage et la durée correspondante au regard des effets sur la durée de vie restante des entités soumises au déverminage.

Il est nécessaire que la durée du déverminage tienne compte du délai avant défaillance des entités fragiles. La durée initiale du RSS est déterminée par le déverminage d'un échantillon d'entités aux niveaux de contraintes du RSS planifié conformément à l'Article A.2. Il convient que la durée du déverminage soit suffisamment longue pour que toutes les entités fragiles de l'échantillon rencontrent une défaillance aux conditions de déverminage de contraintes accrues. L'équivalent d'une année sur site, en tenant compte du facteur d'accélération lié aux contraintes accrues, représente une durée de déverminage classique.

Les défaillances observées sont ensuite analysées par la méthode bimodale de Weibull conformément à l'Article A.3 (voir également l'IEC 61649 [11]). L'analyse bimodale de Weibull consiste à représenter graphiquement les défaillances observées et à identifier la population fragile, c'est-à-dire les entités qui auraient présenté une défaillance précoce sur site dans des conditions normales de fonctionnement. La représentation graphique de Weibull le matérialise par une stabilisation de la courbe, après la défaillance des entités fragiles. Le taux de défaillance, à l'endroit où la courbe se stabilise, constitue une estimation du pourcentage de la population fragile. Quelques rares entités de la population robuste peuvent rencontrer une défaillance à un stade ultérieur de la procédure de déverminage et être représentées graphiquement à droite du point de stabilisation, conférant à la courbe une forme en S, mais le plus souvent, aucune entité de la population robuste ne présente de défaillance. Le point de stabilisation est donc confirmé par l'absence de défaillances pendant une période prolongée en comparaison du temps de fonctionnement entre défaillances des entités fragiles. L'axe des abscisses de la représentation graphique de Weibull étant logarithmique, cette détection peut en général aisément s'effectuer visuellement. Dans le cas contraire, la méthode de Bayes décrite dans [17] peut être utilisée.

Cette analyse évalue le pourcentage d'entités fragiles et la durée de vie caractéristique des entités en question. A partir de ces informations, la durée de RSS nécessaire pour écarter un pourcentage défini (par exemple, 95 % des entités fragiles) peut être déterminée conformément à l'Article A.3.

Pendant le déroulement du RSS, il convient de tracer les défaillances observées à l'aide d'une analyse bimodale de Weibull, conformément à l'Article A.3 (voir [11]). Si les délais avant défaillance des entités sont enregistrés par essai fonctionnel continu, l'opération est simple. Cependant, lorsque les entités sont soumises à un essai fonctionnel seulement après le processus de RSS, un échantillon peut devoir être surveillé pour déterminer le délai avant défaillance.

Lorsque le déverminage est lancé, il est important de suivre le pourcentage détecté de composants fragiles sur la durée. Si ce pourcentage diminue, le RSS peut être raccourci, voire transformé en un déverminage par lots. Si ce pourcentage augmente, il convient de rallonger le RSS et d'en déterminer la nouvelle durée optimale. En surveillant les retours du terrain (voir [16]), il convient de déterminer le nombre de défaillances précoces qui persistent à l'issue du RSS.

8 Gestion d'un programme de RSS

8.1 Ressources

Le RSS est habituellement mené en caisson sous atmosphère contrôlée, qui dispose des fonctionnalités nécessaires aux conditions de déverminage et à la surveillance. La spécification concrète et le nombre de caissons nécessaires dépendent du RSS à exécuter. Pour les conditions de déverminage les plus communes, des caissons adaptés sont disponibles dans le commerce. Cependant, les conditions de déverminage moins communes peuvent devoir être obtenues au moyen de caissons spécifiquement construits à cet effet. Il convient donc d'en identifier le besoin au préalable en vue de leur acquisition.

8.2 Surveillance du déroulement du RSS

Il convient de surveiller le déroulement d'un processus de RSS, afin de vérifier qu'il reste efficace et de l'ajuster dans le cas contraire. Pour surveiller le RSS, des équipements de surveillance et d'essai adaptés sont exigés. Il est probable que leur automatisation soit nécessaire et qu'ils soient utilisés en continu lors du déroulement du RSS. La surveillance en continu des composants déverminés au cours du RSS garantit une analyse des données et donc une évaluation de l'utilisation du RSS simplifiée.

Il convient que la surveillance permette de détecter la défaillance des entités déverminées. Il n'est toutefois pas toujours possible de mesurer une défaillance directement. Des indicateurs secondaires sont donc parfois utilisés comme intermédiaires (par exemple bruit dans les conducteurs, temps de récupération des semiconducteurs, masse dans les condensateurs à électrolyte liquide). La capacité à détecter directement une défaillance, ou la nécessité d'utiliser un intermédiaire, dépend des propriétés physiques des dispositifs déverminés. Il est nécessaire d'étudier ce point au moment où les propriétés physiques de la défaillance de l'entité sont examinées pour l'élaboration de la procédure de déverminage.

Pendant le déroulement du RSS, il est nécessaire d'enregistrer le pourcentage d'entités fragiles détectées dans le temps. Pendant le RSS, le taux de défaillance observé pendant le déverminage peut varier:

- si le taux de défaillance augmente, la durée du déverminage peut être multipliée par deux et il convient alors de procéder à une nouvelle évaluation du déverminage [17];
- si le taux de défaillance diminue, il convient de procéder à une nouvelle évaluation pour déterminer si la durée du déverminage peut être diminuée;
- si le taux de défaillance reste constant sur une certaine durée, il convient que l'évaluation du déverminage soit répétée à intervalles réguliers;
- en l'absence de défaillance sur une certaine durée, il convient de réévaluer l'utilisation du RSS;
- en présence d'un nombre trop important de défaillances sur une certaine durée, il convient de réévaluer l'utilisation du RSS.

9 Analyses de RSS

9.1 Généralités

Lors d'un processus de RSS, il est nécessaire de mener plusieurs formes d'analyses. Il est nécessaire d'identifier l'existence de défaillances précoces par une analyse statistique des défaillances du RSS, généralement complétée par une analyse des causes premières pour identifier les causes physiques de la défaillance. Habituellement, la rentabilité est analysée avant de lancer le RSS. Il est nécessaire de procéder à une analyse statistique du RSS pendant son déroulement, afin d'étudier les données de sortie générées. Il est ensuite nécessaire de procéder à une analyse des causes premières pour vérifier que la défaillance correspond aux prévisions. Les autres données générées sont analysées selon les besoins, pour déterminer si les procédures de déverminage appliquées sont adaptées et définir la durée du déverminage.

9.2 Analyse de rentabilité

Les coûts d'exécution d'un RSS pouvant être élevés, cette analyse vise à garantir que le coût des défaillances justifie un tel investissement. Si le risque présenté par les composants fragiles est suffisant pour en justifier le coût, il est ensuite nécessaire de valider le lancement du RSS.

9.3 Identification des défaillances précoces

Avant de lancer le RSS, il est nécessaire de déterminer si les défaillances observées correspondent à des défaillances précoces. Les informations correspondantes peuvent être obtenues à partir des retours du terrain, en utilisant la moyenne des défaillances cumulées (MCF, *mean cumulative failure*) décrite dans [16]. Cette méthode permet d'évaluer le taux de défaillance précoce et peut également permettre d'estimer la durée de vie caractéristique de la population fragile.

Les données issues des déverminages peuvent aussi être analysées par la méthode de Weibull [11], conformément à l'Annexe A. Si la représentation graphique indique une population fragile et une population robuste, la distribution bimodale de Weibull peut être utilisée pour modéliser la population fragile et déterminer sa durée de vie caractéristique.

9.4 Analyse des données de sortie du RSS

Les principales données de sortie d'un processus de RSS correspondent à des composants défaillants et non défaillants. Afin de garantir que les défaillances observées correspondent à l'objectif du RSS, il est nécessaire de procéder à une analyse des défaillances de composants.

L'analyse des défaillances est le processus par lequel la cause première d'une défaillance au niveau du composant est identifiée. Elle peut englober le contrôle physique et/ou l'essai du composant. Les exigences précises varient pour chaque type de composant, en raison des différences de matériaux et de structure, ainsi que du mécanisme de défaillance. Aucune procédure n'est donc universelle. Toutefois, les principes généraux de l'analyse des causes premières [22] peuvent s'appliquer, lorsqu'ils sont soutenus par les autres techniques analytiques décrites dans les ouvrages universitaires et de référence [18, 19, 20, 21]. En général, l'analyse des défaillances vise à confirmer que les composants sont entrés en défaillance de la manière anticipée lors de la conception du contrôle.

Lorsque les composants entrent en défaillance d'une manière différente et inattendue, il convient de vérifier la procédure de déverminage pour s'assurer qu'elle correspond à l'objectif.

Dans la plupart des cas, la meilleure source de connaissances quant à l'analyse des défaillances de composants reste le fabricant des composants. De nombreux fabricants procèdent à une analyse des défaillances de leurs composants sur demande, ou fournissent des informations permettant son exécution. Il existe également de nombreux laboratoires d'étude spécialisée qui, moyennant rétribution, prennent en charge l'opération.

NOTE Parfois, les composants non défaillants sont également contrôlés pour comparaison avec les composants défaillants.

Le processus de déverminage fournit des données sur le délai avant défaillance des composants déverminés, ainsi que sur les conditions d'environnement, les autres contraintes appliquées et les paramètres secondaires. Les données collectées varient en fonction du composant déverminé, de la taille du lot déverminé et de la nature du déverminage. En raison de cette diversité potentielle des données, il est impossible de fournir des recommandations spécifiques pour l'analyse des données. Certains points génériques peuvent toutefois être soulevés.

Les données relatives au délai avant défaillance peuvent être analysées à l'aide des techniques décrites dans [11], [23]. En général, les procédures utilisées pour étudier ces données sont les techniques d'analyse statistique qui peuvent être trouvées dans la plupart des manuels sur le sujet, comme [24], [25]. La complexité exigée pour les analyses varie en fonction de la

complexité du RSS. Par exemple, un RSS qui utilise un déverminage progressif avec plusieurs niveaux de contraintes exige une analyse plus sophistiquée que ceux qui se limitent à un seul niveau de contraintes.

Les autres techniques qui peuvent être utiles à l'étude de données plus générales incluent les diagrammes de contrôle [26] (pour surveiller le comportement du processus sur la durée), les matrices des ratios de validation et de rejet [27], les techniques d'analyse des risques [28] et l'analyse de la dérive des paramètres [29].

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61163-2:2020

Annexe A (informative)

Analyse des données

A.1 Symboles

β	paramètre de forme de la distribution de Weibull;
η	paramètre appelé durée de vie caractéristique de la distribution de Weibull;
$F(t)$	fonction de distribution des défaillances;
H_i	médiane de l'entité i ;
i	nombre de défaillances;
n	taille de l'échantillon;
p	proportion de composants fragiles;
t	temps de fonctionnement;
t_i	temps de fonctionnement de l'entité i .

A.2 Analyse de Weibull

Après l'exécution du déverminage sous contraintes, les données peuvent être représentées graphiquement pour établir la fonction de distribution. La distribution de Weibull est la méthode la plus fréquemment utilisée dans les analyses de fiabilité et, de fait, s'ajuste normalement bien aux données. Un bon ajustement reste toutefois possible avec d'autres distributions. La distribution de Weibull est décrite en détail dans la norme relative à l'analyse de Weibull [11].

Pour le déverminage sous contraintes, le résultat d'analyse le plus utile est une distribution bimodale. Dans l'analyse de Weibull, elle est représentée par une courbe en forme de S, comme le montre la Figure A.1.

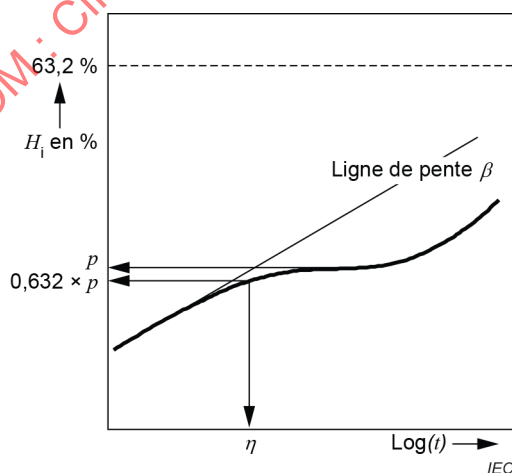


Figure A.1 – Estimation de η et β

Après avoir tracé la courbe lissée la mieux adaptée et déterminé le point d'inclinaison de la courbe, le pourcentage de composants fragiles p peut être déterminé comme correspondant à l'ordonnée du point d'inclinaison, c'est-à-dire le point où la courbe se stabilise et devient relativement horizontale.

Ces données peuvent alors être divisées en deux ensembles au niveau de ce point, et la population robuste et la population fragile peuvent être analysées séparément. En général, l'opération s'effectue visuellement. Il existe également une méthode bayésienne décrite dans [11].

L'analyse des défaillances des composants fragiles permet de calculer le nombre d'heures ou de cycles de déverminage sous contraintes nécessaire à l'extraction d'un pourcentage quelconque de composants fragiles.

Dans certains cas, il est souhaitable d'estimer le pourcentage de défaillances causées par le processus de déverminage sous contraintes sur les composants robustes. Il est alors nécessaire de déterminer les paramètres de la population robuste. La population robuste peut être identifiée par sa situation sur la représentation graphique. Les modes de défaillance des composants défaillants peuvent ensuite être déterminés par l'analyse des défaillances. Ceci ne peut être réalisé qu'en présence d'un minimum de deux défaillances au sein de la population robuste. Dans ce cas, la taille de l'échantillon n de composants fragiles est égale au nombre de défaillances des composants fragiles. La taille de l'échantillon de composants robustes correspond au reste de l'échantillon d'origine. Pour cette représentation graphique, il peut s'avérer nécessaire d'utiliser la méthode de Bayes pour distinguer les défaillances des composants fragiles des défaillances des composants robustes [11].

Si la courbe d'origine (incluant la représentation graphique de toutes les défaillances) ne présente pas une forme en S, il est nécessaire d'en explorer les raisons, qui peuvent être nombreuses:

- La durée du déverminage sous contraintes était trop courte. Le déverminage sous contraintes n'a pas déclenché la défaillance de tous les composants fragiles de l'échantillon, d'où une augmentation de la durée du déverminage.
- Le niveau de contrainte choisi pour le déverminage sous contraintes était trop faible. Le déverminage sous contraintes n'a pas déclenché la défaillance de tous les composants fragiles de l'échantillon, d'où une augmentation du niveau de contrainte.
- Le niveau de contrainte du déverminage sous contraintes était trop élevé et a déclenché la défaillance de tous les composants selon un mécanisme de défaillance lié au déverminage, d'où une diminution du niveau de contrainte.
- Il se peut que la première défaillance d'un composant fragile ne survienne qu'après un certain délai, d'où l'utilisation de trois paramètres de Weibull pour la modélisation (voir [11]).
- Il peut n'y avoir aucun composant fragile.

A.3 Conception d'un déverminage sous contraintes

Tout d'abord, le nombre exigé de composants à soumettre à un déverminage sous contraintes est calculé. Par exemple, si la proportion de composants fragiles est de 5 %, un minimum de quatre défaillances est exigé pour tracer une courbe en S significative, comme le montre la Figure A.1. En prenant pour hypothèse que la probabilité de déclenchement d'un minimum de trois défaillances est de 90 % et en utilisant l'équation binomiale, une feuille de calcul ou le nomogramme de la Figure A.2, une ligne est tracée entre $P = 0,05$ sur l'échelle de gauche et $P = 1 - 0,9 = 0,1$ sur l'échelle de droite.