

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Electric components – Reliability – Reference conditions for failure rates and stress models for conversion

Composants électriques – Fiabilité – Conditions de référence pour les taux de défaillance et modèles de contraintes pour la conversion



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2011 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

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

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

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

A propos des publications CEI

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

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

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

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Electric components – Reliability – Reference conditions for failure rates and stress models for conversion

Composants électriques – Fiabilité – Conditions de référence pour les taux de défaillance et modèles de contraintes pour la conversion

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

XD

ICS 31.020

ISBN 978-2-88912-551-7

CONTENTS

FOREWORD.....	6
INTRODUCTION.....	8
1 Scope.....	9
2 Normative references	9
3 Terms, definitions and symbols	10
3.1 Terms and definitions	10
3.2 Symbols	12
4 Context and conditions	13
4.1 Failure modes	13
4.2 Operating profile considerations	14
4.3 Storage conditions	14
4.4 Environmental conditions	14
5 Generic reference conditions and stress models.....	16
5.1 Recommended generic reference conditions	16
5.2 Generic stress models.....	17
5.2.1 General	17
5.2.2 Stress factor for voltage dependence, π_U	18
5.2.3 Stress factor for current dependence, π_I	18
5.2.4 Stress factor for temperature dependence, π_T	18
5.2.5 Environmental application factor, π_E	20
5.2.6 Other factors of influence	21
6 Specific reference conditions and stress models.....	21
6.1 Integrated semiconductor circuits	21
6.1.1 Reference conditions	21
6.1.2 Stress factors	23
6.2 Discrete semiconductors	27
6.2.1 Reference conditions	27
6.2.2 Stress factors	28
6.3 Optoelectronic components	32
6.3.1 Reference conditions	32
6.3.2 Stress factors	34
6.4 Capacitors.....	38
6.4.1 Reference conditions	38
6.4.2 Stress factors	38
6.5 Resistors and resistor networks.....	41
6.5.1 Reference conditions	41
6.5.2 Stress factors	42
6.6 Inductors, transformers and coils.....	43
6.6.1 Reference conditions	43
6.6.2 Stress factors	43
6.7 Microwave devices	44
6.7.1 Reference conditions	44
6.7.2 Stress factors	45
6.8 Other passive components	45
6.8.1 Reference conditions	45

6.8.2 Stress factors	45
6.9 Electrical connections.....	45
6.9.1 Reference conditions	45
6.9.2 Stress factors	46
6.10 Connectors and sockets	46
6.10.1 Reference conditions	46
6.10.2 Stress factors	46
6.11 Relays.....	46
6.11.1 Reference conditions	46
6.11.2 Stress factors	47
6.12 Switches and push-buttons.....	49
6.12.1 Reference conditions	49
6.12.2 Stress factors	50
6.13 Signal and pilot lamps	51
6.13.1 Reference conditions	51
6.13.2 Stress factors	51
Annex A (normative) Failure modes of components	53
Annex B (informative) Failure rate prediction	55
Annex C (informative) Considerations for the design of a data base on failure rates	65
Annex D (informative) Potential sources of failure rate data and methods of selection	68
Annex E (informative) Overview of component classification	74
Annex F (informative) Examples	86
Bibliography.....	88
Figure 1 – Selection of stress regions in accordance with current and voltage-operating conditions	48
Figure 2 – Selection of stress regions in accordance with current and voltage-operating conditions	50
Figure B.1 – Stress profile	59
Figure B.2 – Averaging failure rates	60
Table 1 – Basic environments	15
Table 2 – Values of environmental parameters for basic environments	15
Table 3 – Recommended reference conditions for environmental and mechanical stresses	17
Table 4 – Environmental application factor, π_E	20
Table 5 – Memory.....	21
Table 6 – Microprocessors and peripherals, microcontrollers and signal processors	22
Table 8 – Analog integrated circuits (IC)	23
Table 9 – Application-specific ICs (ASICs).....	23
Table 10 – Constants for voltage dependence	24
Table 11– Factor π_U for digital CMOS-family ICs.....	24
Table 12 – Factor π_U for bipolar analog ICs	24
Table 13 – Constants for temperature dependence	24

Table 14 – Factor π_T for ICs (without EPROM; FLASH-EPROM; OTPROM; EEPROM; EAROM)	26
Table 15 – Factor π_T for EPROM, FLASH-EPROM, OTPROM, EEPROM, EAROM.....	26
Table 16 – Transistors common, low frequency.....	27
Table 17 – Transistors, microwave, e.g. RF >800 MHz.....	27
Table 18 – Diodes.....	28
Table 19 – Power semiconductors	28
Table 20 – Constants for voltage dependence of transistors	29
Table 21 – Factor π_U for transistors	29
Table 22 – Constants for temperature dependence of discrete semiconductors	29
Table 23 – Factor π_T for transistors, reference and microwave diodes	31
Table 24 – Factor π_T for diodes (without reference and microwave diodes) and power semiconductors.....	31
Table 25 – Optoelectronic semiconductor signal receivers	32
Table 26 – LEDs, IREDs, laser diodes and transmitter components.....	33
Table 27 – Optocouplers and light barriers.....	33
Table 28 – Passive optical components.....	34
Table 29 – Transceiver, transponder and optical sub-equipment.....	34
Table 30 – Constants for voltage dependence of phototransistors.....	35
Table 31 – Factor π_U for phototransistors.....	35
Table 32 – Constants for current dependence of LEDs and IREDs.....	35
Table 33 – Factor π_I for LEDs and IREDs.....	35
Table 34 – Constants for temperature dependence of optoelectronic components	36
Table 35 – Factor π_T for optical components.....	37
Table 36 – Capacitors.....	38
Table 37 – Constants for voltage dependence of capacitors.....	39
Table 38 – Factor π_U for capacitors.....	39
Table 39 – Constants for temperature dependence of capacitors	40
Table 40 – Factor π_T for capacitors.....	41
Table 41 – Resistors and resistor networks.....	42
Table 42 – Constants for temperature dependence of resistors.....	42
Table 43 – Factor π_T for resistors	43
Table 44 – Inductors, transformers and coils.....	43
Table 45 – Constants for temperature dependence of inductors, transformers and coils	43
Table 46 – Factor π_T for inductors, transformers and coils	44
Table 47 – Microwave devices	44
Table 48 – Other passive components	45
Table 49 – Electrical connections.....	46
Table 50 – Connectors and sockets	46
Table 51 – Relays.....	47
Table 52 – Factor π_{ES} for low current relays.....	48

Table 53 – Factor π_{ES} for general purpose relays	48
Table 54 – Factor π_{ES} for automotive relays.....	49
Table 55 – Constants for temperature dependence of relays.....	49
Table 56 – Facteur π_T for relays	49
Table 57 – Switches and push-buttons.....	50
Table 58 – Factor π_{ES} for switches and push-buttons for low electrical stress	51
Table 59 – Factor π_{ES} for switches and push-buttons for higher electrical stress.....	51
Table 60 – Signal and pilot lamps	51
Table 61 – Factor π_U for signal and pilot lamps.....	52
Table A.1 – Failure modes – Integrated circuits (ICs)(digital)	53
Table A.2 – Failure modes – Transistors, diodes, optocouplers.....	53
Table A.3 – Failure modes – Capacitors	54
Table A.4 – Failure modes – Resistors, inductive devices, relays.....	54
Table C.1 – Reliability prediction database attributes.....	66
Table D.1 – Sources of reliability data (in alphabetical order).....	70
Table E.1 – Classification tree (IEC 61360).....	75

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ELECTRIC COMPONENTS – RELIABILITY – REFERENCE CONDITIONS FOR FAILURE RATES AND STRESS MODELS FOR CONVERSION

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 61709 has been prepared by IEC technical committee 56: Dependability.

This second edition cancels and replaces the first edition, published in 1996 and constitutes a technical revision.

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

- the addition of a number of component types and the updating of models for a large number of component types;
- the addition of annexes on reliability prediction, sources of failure rate data and component classification information.

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

FDIS	Report on voting
56/1422/FDIS	56/1431/RVD

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

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

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

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

INTRODUCTION

This International Standard is intended for the reliability prediction of components as used in equipment and is aimed at organizations that have their own data and describes how to state and use that data in order to perform reliability predictions.

It can also be used to allow an organization to set up a failure rate database and describes the reference conditions for which field failure rates should be stated. The reference conditions adopted in this standard are typical of the majority of applications of components in equipment however when components operate under other conditions the users may consider stating these conditions as their reference conditions.

Using the presented stress models allows extrapolation of failure rates to other operating conditions which in turn permits the prediction of failure rates at assembly level. This allows estimation of the effect of design changes or changes in the environmental conditions on component reliability. Reliability prediction is most useful in the early design phase of electrical equipment. It can be used, for example, to identify potential reliability problems, the planning of logistic support strategies and the evaluation of designs.

The stress models contained herein are generic and are as simple as possible while still being comparable with more complex equations contained in other models.

This standard does not contain failure rates, but it describes how they can be stated and used. This approach allows a user to select the most relevant and up to date failure rates for the prediction from a source that they select. This standard also contains information on how to select the data that can be used in the presented models.

ELECTRIC COMPONENTS – RELIABILITY – REFERENCE CONDITIONS FOR FAILURE RATES AND STRESS MODELS FOR CONVERSION

1 Scope

This International Standard gives guidance on how failure rate data can be employed for reliability prediction of electric components in equipment.

Reference conditions are numerical values of stresses that are typically observed by components in the majority of applications. Reference conditions are useful since they are the basis of the calculation of failure rate under any conditions by the application of stress models that take into account the actual operating conditions. Failure rates stated at reference conditions allow realistic reliability predictions to be made in the early design phase.

The stress models described herein are generic and can be used as a basis for conversion of the failure rate data at these reference conditions to actual operating conditions when needed and this simplifies the prediction approach. Conversion of failure rate data is only permissible within the specified functional limits of the components.

This standard also gives guidance on how a database of component failure data can be constructed to provide failure rates that can be used with the included stress models. Reference conditions for failure rate data are specified, so that data from different sources can be compared on a uniform basis. If failure rate data are given in accordance with this International Standard then no additional information on the specified conditions is required.

This standard does not provide base failure rates for components – rather it provides models that allow failure rates obtained by other means to be converted from one operating condition to another operating condition.

The prediction methodology described in this standard assumes that the parts are being used within its useful life. The methods in this standard have a general application but are specifically applied to a selection of component types as defined in Clause 6 and Clause E.2.

2 Normative references

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

IEC 60050-191, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 191: Dependability and quality of service*

IEC 60605-6, *Equipment reliability testing – Part 6: Tests for the validity and estimation of the constant failure rate and constant failure intensity*

IEC 60721-3-3, *Classification of environmental conditions – Part 3: Classification of groups of environmental parameters and their severities – Section 3: Stationary use at weather protected locations*

IEC 60721-3-4, *Classification of environmental conditions – Part 3: Classification of groups of environmental parameters and their severities – Section 4: Stationary use at non-weatherprotected locations*

IEC 60721-3-5, *Classification of environmental conditions – Part 3: Classification of groups of environmental parameters and their severities – Section 4: Ground vehicle installations*

IEC 60721-3-7, *Classification of environmental conditions – Part 3: Classification of groups of environmental parameters and their severities – Section 7: Portable and non-stationary use*

3 Terms, definitions and symbols

3.1 Terms and definitions

For the purpose of this document, the terms and definitions of IEC 60050-191, as well as the following terms and definitions apply.

3.1.1

electric component

component with conductive terminals through which voltages or currents may be applied or delivered

[IEC 61360-1:2009, 2.18]

NOTE The term electric component includes the commonly used terms “electronic component”, “electrical component” and “electro-mechanical component”.

3.1.2

failure (of an item)

loss of ability to perform as required

NOTE 1 When the loss of ability is caused by a pre-existing latent fault, the failure occurs when a particular set of circumstances is encountered.

NOTE 2 A failure of an item is an event that results in a fault in that item, which is a state.

3.1.3

failure mode

manner in which failure occurs

NOTE A failure mode may be defined by the function lost or the state transition that occurred.

3.1.4

instantaneous failure rate

failure rate

limit, if it exists, of the ratio of the conditional probability that the instant of a failure of a non-repairable item occurs within time interval $(t, t + \Delta t)$ to Δt when Δt tends to zero, given that it has not failed within time interval $(0, t)$

NOTE 1 The instantaneous failure rate, $\lambda(t)$, is expressed by the formula:

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)}$$

where $F(t)$ and $f(t)$ are respectively the distribution function and the probability density of the failure instant, and where $R(t)$ is the reliability function, related to the reliability $R(t_1, t_2)$ by $R(t) = R(0, t)$.

NOTE 2 See IEC 61703.

NOTE 3 Other terms used for instantaneous failure rate are "hazard function", "hazard rate" and "force of mortality" (abbreviation FOM).

NOTE 4 In this standard $\lambda(t)$ is assumed to be constant over time.

3.1.5

reference conditions

stresses selected so as to correspond to the majority of applications and usage of components in equipment

NOTE Stresses include electrical stress, temperature and environmental conditions

3.1.6

reference failure rate

failure rate stated under reference conditions given in this standard

NOTE The reference failure rate is specific to the component, i.e. it includes the effect of complexity, technology of the casing, dependence on manufacturers and the manufacturing process, etc.

3.1.7

duty cycle

specified sequence of operating condition

[IEC 60050-151:2001, 151-16-02]

NOTE The duty cycle states whether components are continuously or intermittently stressed during their operation. Continuous duty means operation for a long duration with constant or changing loads (e.g. process controls, telephone switch). Intermittent duty means operation with constant or changing loads during up state (e.g. numerical controls for machinery, road traffic signals).

3.1.8

prediction

computation process used to obtain the predicted value of a quantity

NOTE The term "prediction" may also be used to denote the predicted value of a quantity.

3.1.9

component

constituent part of a device which cannot be physically divided into smaller parts without losing its particular function

[IEC 60050:2001, 151-11-21]

3.1.10

equipment

single apparatus or set of devices or apparatuses, or the set of main devices of an installation, or all devices necessary to perform a specific task

NOTE Examples of equipment are a power transformer, the equipment of a substation, or measuring equipment.

[IEC 60050-151:2001, 151-11-25]

3.1.11

useful life

time interval, from first use until user requirements are no longer met, due to economics or obsolescence

3.1.12

drift

difference between the final value of a characteristic at the end of a specified period and the initial value, all other operating conditions being held constant

NOTE The use of the term "drift" to refer to the immediate change of a characteristic in direct response to changed operating conditions (for example, temperature) is deprecated.

[IEC 60747-1:2006, 3.6.1, modified]

3.1.13

virtual temperature

internal equivalent temperature (of a semiconductor device)

theoretical temperature which is based on a simplified representation of the thermal and electrical behaviour of the semiconductor device

[IEC 60050-521: 2002, 521-05-14, modified]

3.1.14

virtual (equivalent) junction temperature

virtual temperature of the junction of a semiconductor device

[IEC 60050-521:2002, 521-05-15]

NOTE The virtual temperature is not necessarily the highest temperature in the device.

3.2 Symbols

In this standard, the following symbols are used:

S	number of operating cycles per hour
E_a	activation energy of a failure process
I_{op}	operating current
I_{rat}	rated current
I_{ref}	reference current
P_{op}	operating power dissipation
P_{rat}	rated power dissipation
P_{ref}	reference power dissipation
$R(t_1, t_2)$	reliability between two times t_1 and t_2
R_{th}	thermal resistance
$R_{th,amb}$	thermal resistance (to the environment)
S_{ref}	reference number of operating cycle per hour
T_{amb}	ambient temperature in Kelvin
T_0	reference ambient temperature in Kelvin
T_{ref}	reference temperature in Kelvin
U_{op}	operating voltage
U_{rat}	rated voltage
U_{ref}	reference voltage
t_p	fraction of time with part stress for an assembly
t_i	fraction of time spent idle for an assembly
t_f	fraction of time with full stress for an assembly
β	shape parameter of the Weibull distribution
ΔT	actual self-heating in degrees Celsius
ΔT_{ref}	reference self-heating in degrees Celsius
θ_{amb}	ambient temperature in degrees Celsius
	– for capacitors the actual capacitor temperature;
	– for discrete semiconductors and optoelectronic components the actual junction

	temperature;
	– for inductors the actual winding temperature;
	– for integrated circuits (ICs) the actual virtual (equivalent) junction temperature;
	– for other electric components the actual ambient temperature;
	– for resistors the actual resistor element temperature;
θ_{op}	operating temperature in degrees Celsius
θ_0	reference ambient temperature in degrees Celsius
θ_{ref}	reference temperature in degrees Celsius
	– for capacitors the reference temperature of the capacitor;
	– for discrete semiconductors and optoelectronic components the reference junction temperature;
	– for inductors the reference temperature of the winding;
	– for ICs the reference virtual (equivalent) junction temperature;
	– for other electric components the reference temperature of the component;
	– for resistors the reference temperature of the resistor element.
λ_f	failure rate at full stress for an assembly;
λ_p	failure rate at part stress for an assembly;
λ_i	failure rate during time spent idle for an assembly;
$\lambda_{component}$	failure rate of a component;
λ_{mode}	failure rate of a components failure mode;
λ_S	failure rate of a system;
λ	failure rate under operating conditions;
λ_{ref}	failure rate under reference conditions;
π_I	current dependence factor;
π_{ES}	electrical stress dependence factor;
π_E	environmental application factor;
π_{op}	stress factor for operating profile;
π_S	switching rate dependence factor;
π_T	temperature dependence factor;
π_U	voltage dependence factor.

4 Context and conditions

4.1 Failure modes

The characteristic preferred for reliability data of electric components is the (instantaneous) failure rate. It is to be noted that, although it is often generically defined as failure, the exact observed event that is measured is a failure mode.

In equipment a failure (mode) or functional loss is caused by a component failure mode where that component failure mode is relevant to the application being carried out by the equipment.

It should be noted that a component has many features and only some may be used in the specific application. A function loss at the equipment level occurs only when there is a loss of the component feature that is used to support that function.

Furthermore a circuit requires the presence of component features according to what was defined by the designer; this may not encompass the total feature set of the component and

may not use a particular feature to its full capacity as defined by the data sheet in terms of functional characteristics and ratings.

Handbooks usually define failure rate as an overall value, which includes all failure modes. This implies that component failure rate can be considered as the sum of the failure rates of all the modes, as follows:

$$\lambda_{\text{component}} = \sum_{i=1}^n (\lambda_{\text{mode}})_i \quad (1)$$

where $(\lambda_{\text{mode}})_i$ is the component failure rate in which the failure mode i occurs and n is the number of failure modes.

Failure modes are listed in Annex A and more details about failures are contained in Annex B.

4.2 Operating profile considerations

One of the major factors affecting component reliability is operating profile. This will vary according to the type of operation that is undertaken. This operation may be continuous over time at a fixed level, continuous over time at a variable level or sporadic over time at either a fixed level or a variable level. In some cases switch on and switch off could be significant and of more importance than the steady state operational conditions. Careful consideration of the operating profile is needed in order to fully understand how it affects the component reliability.

The operating profile can be considered to be based on calendar time or on the time of actual operation or it can be cycle based (e.g. how many times an item is used).

4.3 Storage conditions

Components that are under storage conditions are not immune from failure. However the stress models for environmental application factors in this standard may not apply since they only deal with operating conditions. Different failure mechanisms may exist under storage conditions that have not been considered in the models.

Storage conditions should be treated separately from operating conditions. They may affect the components' failure behaviour in later life.

4.4 Environmental conditions

The environment contributes to failure that occurs in the life of the equipment. As a consequence the duration and intensity of environmental stresses should be included in the operational model of the equipment.

A more severe environment may cause the failures to occur more frequently than one that is less severe. There will usually be several aspects of the environment that will be pertinent to a specific failure and all may need to be understood. The locality of the environment is also important, for example on an aircraft the in-cabin and on-engine environments are very different.

The environment may be described in terms of several types of parameters. IEC 60721-3-3 describes the environment in terms of

- climatic conditions,
- special climatic conditions,
- biological conditions,
- chemically active substances,

- mechanically active substances,
- mechanical conditions (both static and dynamic).

All the above listed conditions are in general relevant to the equipment's reliability (failure rate) and it is reasonable to consider that the reliability of components, and therefore of the equipment, decreases as the environmental stress increases (see the IEC 60721 series for a detailed quantitative descriptions of the environmental parameters for each environment).

In this standard it is assumed that the climatic and mechanical conditions are the most significant and this is also valid for many standard applications of components. However there may be situations where, for example, chemical conditions could result in a higher failure rate.

Therefore, only the climatic and mechanical parameters are used to describe the effect of the reference environments on failure rates. However, temperature is treated separately in this standard and, for simplicity, it has chosen to address three basic environments, conventionally named E1, E2 and E3. These environments refer to general field usage situations, considering the specific values of the environmental parameters. These are defined in Table 1.

Table 1 – Basic environments

E1	Stationary use at weather-protected locations	The environment is highly insensitive to the weather outdoors and humidity is controlled within defined limits. This is typical of telecommunications and computer equipment placed in buildings. This includes office situations
E2	Stationary use at partially weather-protected or non-weather-protected locations	The environment offers thermal and mechanical stresses directly influenced by natural environmental conditions. It is typical of equipment installed outdoors
E3	Portable and non-stationary use, ground vehicle installation	The environment offers mechanical stresses and severe thermal gradients. It is typical of equipment mounted on vehicles or that are hand portable

Other environments can be defined, see 5.2.5 for details.

Table 2 shows the values of environmental parameters and their relationship to the classes indicated in the relevant IEC standards.

The effect of environment can be described as a change of failure rate, by applying an environmental application factor π_E (see Table 4). Note that π_E is a discrete factor since it is based on non-continuous data and summarizes a large number of different lower level factors.

Table 2 – Values of environmental parameters for basic environments

Basic environment	E1	E2	E3
	Stationary use at weather-protected locations	Stationary use at partially weather-protected or non weather-protected locations	Portable and non-stationary use, ground vehicle installation
Temperature rate of change	$\leq 0,5 \text{ }^{\circ}\text{C/min}$	$> 0,5 \text{ }^{\circ}\text{C/min}$	$> 0,5 \text{ }^{\circ}\text{C/min}$

Basic environment	E1	E2	E3
	Stationary use at weather-protected locations	Stationary use at partially weather-protected or non weather-protected locations	Portable and non-stationary use, ground vehicle installation
Stationary vibration, sinusoidal	2-9 Hz <1,5 mm 9-200 Hz ≤ 5 m/s ²	2-9 Hz ≤3 mm 9-200 Hz ≤ 10 m/s ²	2-9 Hz >3 mm 9-200 Hz ≥ 10 m/s ² 200-500 Hz ≥15 m/s ²
Non-stationary vibration including shock	≤ 70 m/s ²	≤ 250 m/s ²	> 250 m/s ²
IEC 60721-3-3 Classes	3K1 3K2 3K3 3K4 3K5 3K6 3M1 3M2 3M3	3K7 3K7L 3K8 3K8H 3K8L 3K9 3K10 3M4 3M5 3M6 3M7	–
IEC 60721-3-4 Classes	–	–	4K1 4K2 4K3 4K4 4K4H 4K4L
IEC 60721-3-5 Classes	–	–	5K1 5K2 5K3 5K4 5K4H 5K4L 5K5 5K6 5M1 5M2 5M3
IEC 60721-3-7 Classes	–	–	7K1 7K2 7K3 7K4 7K5
ETS 300 019-1-3 Classes	3.1; 3.2; 3.3	3.4; 3.5	–
ETS 300 019-1-4 Classes	–	4.1; 4.1E	–
ETS 300 019-1-8 Classes	8.1 + Note	–	–
ETS 300 019-1-5 Classes	–	–	5.1; 5.2
ETS 300 019-1-7 Classes	–	–	7.1; 7.2; 7.3; 7.3E

This standard is written to contain only the three environments for the sake of simplicity. However the user can describe any environment using the same methodology and assess the proper environmental application effect π_E as described in 5.2.5.

5 Generic reference conditions and stress models

5.1 Recommended generic reference conditions

Generic reference conditions are those that apply to all component types. In this standard, these include electrical stress, temperature and environmental conditions. If it is appropriate and if models are available, these can be considered at the specific component level.

The recommendations in Table 3 should be used by an organization unless they are not appropriate to the normal working conditions of that organization's equipment. The organization is then free to choose its own appropriate reference conditions.

The values chosen represent the majority of component operating conditions. Any organization should choose conditions closer to their actual experience if they differ from that given in Table 3.

Generic models are not available.

Table 3 – Recommended reference conditions for environmental and mechanical stresses

Type of stress	Reference condition ^a
Ambient temperature ^b	$\theta_0 = 40\text{ °C}$
Environmental condition	Environment E1 (see Table 1)
Special stresses	Not addressed in this standard ^c
^a The failure rates stated under these conditions apply only to components not damaged during transport and storage. ^b For the purpose of this standard, the ambient temperature is the temperature of the medium next to the component during equipment operation, not taking into account any possible self-heating of the component. The surroundings of the component should be defined. ^c Special stresses include wind, rain and snow, icing, drips, sprays or jets of water, dust (chemically active or not), effects of animal pests, corrosive gases, radioactive radiation, etc. These stresses may be significant contributors to failure; however, as a general good practice; they should be addressed by design practices. There may be cases where their effect can be treated by applicable models. These stresses have such wide ranges of effects it would be inappropriate to address them in this standard.	

5.2 Generic stress models

5.2.1 General

Components may not always operate under the reference conditions. In such cases, operational conditions will result in failure rates different from those given for reference conditions. Therefore, models for stress factors, by which failure rates under reference conditions can be converted to values applying for operating conditions (actual ambient temperature and actual electrical stress on the components), and vice versa, may be required. In Clause 6 specific stress models and values of π -factors for component categories are given and should be used for converting reference failure rates to field operational failure rates. The π -factors are failure rate modifiers which are related to a specific stress or condition. They are a measure of the change of failure rate due to changes in that stress or condition. However, if more specific models are applicable for particular component types then these models should be used and their usage justified and reported.

The conversion of failure rates is only possible within the specified functional limits of the components.

The component failure rate under operating conditions is calculated as follows:

$$\lambda = \lambda_{\text{ref}} \times \pi_U \times \pi_I \times \pi_T \times \pi_E \times \pi_S \times \pi_{\text{ES}} \quad (2)$$

where

- λ_{ref} is the failure rate under reference conditions;
- π_U is the voltage dependence factor;
- π_I is the current dependence factor;
- π_T is the temperature dependence factor;
- π_E is the environmental application factor;
- π_S is the switching rate dependence factor;
- π_{ES} is the electrical stress dependence factor.

5.2.2 Stress factor for voltage dependence, π_U

$$\pi_U = \exp \left\{ C_3 \left[\left(\frac{U_{op}}{U_{rat}} \right)^{C_2} - \left(\frac{U_{ref}}{U_{rat}} \right)^{C_2} \right] \right\} \quad (3)$$

where

U_{op} is the operating voltage in V;

U_{ref} is the reference voltage in V;

U_{rat} is the rated voltage in V;

C_2, C_3 are constants.

Equation (3) represents an empirical model to describe the voltage dependence of failure rates.

NOTE When dealing with absolute values of voltage, as might be necessary for some component types, then the equation can be modified to $\pi_U = \exp \left\{ C_1 \left(U_{op}^{C_2} - U_{ref}^{C_2} \right) \right\}$ where $C_1 = C_3 / U_{rat}^{C_2}$.

5.2.3 Stress factor for current dependence, π_I

$$\pi_I = \exp \left\{ C_4 \left[\left(\frac{I_{op}}{I_{rat}} \right)^{C_5} - \left(\frac{I_{ref}}{I_{rat}} \right)^{C_5} \right] \right\} \quad (4)$$

where

I_{op} is the operating current in A;

I_{ref} is the reference current in A;

I_{rat} is the rated current in A;

C_4, C_5 are constants.

Equation (4) represents an empirical model to describe the current dependence of failure rates.

5.2.4 Stress factor for temperature dependence, π_T

$$\pi_T = \exp \left[\frac{Ea_1}{k_0} \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T_{op}} \right) \right] \quad (5)$$

Equation (5) is an empirical model based on the Arrhenius equation and it describes the temperature dependence of the failure rates. Ideally this computation should be made for each failure mode however it is common practice to perform this calculation using an average of all activation energies for all failure modes. It should be noted that in this latter case, the activation energy may also be a function of temperature since it is related to the different activation energies of the underlying failure modes. However this effect is commonly ignored.

In certain cases a more complex model using two activation energies is appropriate to fit the temperature dependence of failure rates. In such a case the following model, represented by Equation (6), can be used. Use of the model with two activation energies (E_{a1}, E_{a2}) is

considered sufficient to model adequately the temperature-failure rate relation. (This is sometimes known as competing risks; see JESD-85 for details.)

This extended Arrhenius equation is standardized to avoid temperature-dependent activation energies when changing reference temperature, T_{ref} .

$$\pi_T = \frac{A \times \exp(Ea_1 \times z) + (1 - A) \times \exp(Ea_2 \times z)}{A \times \exp(Ea_1 \times z_{\text{ref}}) + (1 - A) \times \exp(Ea_2 \times z_{\text{ref}})} \quad (6)$$

with the auxiliary variables

$$z = \frac{1}{k_0} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_{\text{op}}} \right) \quad \text{and} \quad z_{\text{ref}} = \frac{1}{k_0} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_{\text{ref}}} \right) \quad \text{in } (\text{eV})^{-1}$$

where, in Equations (5) and (6):

A	is a constant;
E_{a1}, E_{a2}	are activation energies in eV;
k_0	$= 8,616 \times 10^{-5} \text{ eV/K};$
T_0	$= 313 \text{ K};$
T_{ref}	$= (\theta_{\text{ref}} + 273) \text{ in K};$
T_{op}	$= (\theta_{\text{op}} + 273) \text{ in K}.$

The temperatures θ_{ref} and θ_{op} in degrees Celsius above are as follows;

- for ICs:
 - θ_{ref} : reference virtual (equivalent) junction temperature;
 - θ_{op} : actual virtual (equivalent) junction temperature;
- for discrete semiconductors and optoelectronic components:
 - θ_{ref} : reference junction temperature;
 - θ_{op} : actual junction temperature;
- for capacitors:
 - θ_{ref} : reference capacitor temperature;
 - θ_{op} : actual capacitor temperature;
- for resistors:
 - θ_{ref} : average reference temperature of the resistor element (for example, film);
 - θ_{op} : average actual temperature of the resistor element;
- for inductors:
 - θ_{ref} : average reference temperature of the winding;
 - θ_{op} : average actual temperature of the winding;
- for other electric components:
 - θ_{ref} : reference ambient temperature;

θ_{op} : actual ambient temperature.

5.2.5 Environmental application factor, π_E

5.2.5.1 General

Some data handbooks contain guidance on transferring a failure rate estimate from one environmental condition to another. The concept seems logical, but it bears some risk. For that reason, this standard focuses more on situations where base failure rates are gathered from environment conditions which are similar to those applied to the component in practice. For more information see B.4.4.

The influence of environmental application conditions on the component depends essentially on the design of equipment; for example by using the equipment on ships or in the automotive field instead of in protected rooms (laboratory conditions), no influence on the environmental application conditions will exist if the component is protected within the equipment. Whether an environmental application influence occurs depends therefore essentially on the equipment manufacturer. It is the duty of an organization to design for a specific environment. If the impact of these stresses cannot be avoided then specific studies are necessary for these pieces of equipment.

If the only failure rate data books available came from a source with very different environmental conditions, the need for an environmental application factor arises. To use such an environmental application factor means to assume that a more severe environment causes the activation of internal failure mechanisms in a predictable, more or less linear manner. There are situations where this assumption is wrong. When a component designed for ground equipment is used under severe shock and vibration conditions – these can destroy all components in a few hours – a π_E -factor could be calculated, but is not meaningful. The only solution is not to use this component in that environment.

The environmental application factor, π_E , should be handled with care.

Table 4 – Environmental application factor, π_E

Stationary use at weather-protected locations	Stationary use at partially weather-protected or non-weather-protected locations	Portable and non-stationary use, ground vehicle installation
E1	E2	E3
1	2	4

NOTE Failure rate data books from a component supplier will often give guidance on how to transfer the failure rate to other operating and environmental conditions.

5.2.5.2 Dependence on switching rate π_S

This π -factor considers the number of operating cycles per hour, S , and only applies for relays.

$$a) \quad \pi_S = 1 \quad \text{for } 0,01 < S < S_{ref} \quad (7)$$

NOTE For low operating cycles per hour ($S < 0,01$), the factor π_S can be as much as 100 for hermetically sealed contacts, normally closed, or non-sealed contacts, normally open under small loads.

$$b) \quad \pi_S = S/S_{ref} \quad \text{for } S > S_{ref} \quad (8)$$

where

S is the number of operating cycles per hour;
 S_{ref} is the reference number of operating cycles per hour.

5.2.5.3 Dependence on electrical stress π_{ES}

This π -factor is only applicable to certain devices and is explained in detail in the related clauses.

5.2.6 Other factors of influence

Other stress factors are given for individual types of components in Clause 6 where the dependence is known.

At present, no generally applicable conversion methods can be given for the dependence of the failure rate on humidity, air pressure, mechanical stress, etc.

If the failure rate dependence of these types of stress is known, it should be considered.

If the dependence of the failure rate under these types of stress is unknown but is expected to be a function of these types of stress, appropriate studies may be necessary.

6 Specific reference conditions and stress models

6.1 Integrated semiconductor circuits

6.1.1 Reference conditions

The following recommendations for reference temperatures given in Table 5 to Table 9 are based on a component ambient temperature of 40 °C and correspond to the majority of applications of components in equipment.

The reference self-heating, $\Delta T_{\text{ref}} = P_{\text{ref}} \times R_{\text{th,amb}}$, shall be given when using reference temperatures other than those stated in the tables.

For any integrated circuit there are two thermal resistances generally considered; one between the junction and the case, and the other between the case and the environment. The thermal resistance, $R_{\text{th,amb}}$, above should be the one that is most significant in the application under consideration.

When stating a failure rate for an ambient temperature of 40 °C, the reference power dissipation, P_{ref} , and the thermal resistance, $R_{\text{th,amb}}$, to the environment for which this value holds shall also be given.

Table 5 – Memory

Component			θ_{ref} °C	Note
Bipolar	RAM, FIFO	Static	75	–
	PROM		75	
MOS, CMOS, BICMOS	RAM	Dynamic	55	
	RAM, FIFO	Static slow (≥ 30 ns) Static fast (< 30 ns)	55	
	ROM mask		55	
	EPROM, OTPROM	UV erasable	55	
	FLASH		55	
	EEPROM, EAROM		55	

Table 6 – Microprocessors and peripherals, microcontrollers and signal processors

Component		θ_{ref} °C	Note
Bipolar		70	–
NMOS	No. of transistors ≤ 50 k	70	
	No. of transistors > 50 k	90	
CMOS	No. of transistors ≤ 5 k	50	
	No. of transistors >5 k – 50 k	60	
	No. of transistors >50 k – 500 k	80	
	No. of transistors >500 k	90	
BICMOS		75	

Table 7 – Digital logic families and bus interfaces, bus driver and receiver circuits

Component		θ_{ref} °C	Note
Bipolar	TTL, -LS, -A(L)S, -F	45	–
	Bus interface	55	
	TTL S	80	
	ECL	65	
	10(LV)E(L) / 100(LV)E(I)(P)	75 60	
CMOS	HCMOS, CMOS B, AC MOS (FCT, HC, A(U), C, LVX), (LVC, LCX, LV) (VCX, ALVC, AVG, AHC, VHC)	45	$U_{ref} = 5V$
	Logic Analog switches, Bus interface		
	Bus interface	50	
	Bus driver / receiver RS422, RS423, RS485, CAN, etc. RS232, RS644/899, CML, etc.	55	
BICMOS	Logic	45	–
	Bus interface	50	
	ABT, BCT	50	
	LVT, ALVT	50	
	GTL(p)	50	
	BTL, ETL	95	
	Bus driver / receiver	55	

Table 8 – Analog integrated circuits (IC)

Component		θ_{ref} °C	Note
Operational amplifiers, comparators and voltage monitors	Bipolar, BIFET CMOS	55 45	$U_{ref}/U_{rat} = 0,7$
Reference elements	All technologies	45	
Switch regulators	All technologies	55	
Power amplifiers and regulators (all technologies)	≤ 1 W > 1 W	70 90	
High frequency IC (> 100 MHz)			
HF modulator, demodulator PLL, VCO	Bipolar CMOS, BICMOS	65 45	–
Transmitter, receiver	Bipolar CMOS, BICMOS	70 45	
Power amplifier / receiver	GaAs	80	

Table 9 – Application-specific ICs (ASICs)

Component			θ_{ref} °C	Note
ASICs, full custom, gate arrays, telecom ICs, A/D-converters				—
Bipolar	TTL		55	
	ECL		70	
	HV (> 50 V)		80	
NMOS			55	
CMOS, BICMOS	Digital, analog / mixed	No. of transistors ≤ 50 k	55	
		No. of transistors >50k – 50 M	70	
		No. of transistors >50 M	80	
	HV (> 50 V)		75	
Programmable ASICs (PLD) non erasable				
Bipolar	TTL		80	
	ECL		85	
CMOS		(anti-fuses)	80	
Programmable ASICs (PLD) erasable				
NMOS, CMOS	RAM basis		80	
	EPROM basis	No. of transistors ≤ 5 k	70	
	EEPROM basis	No. of transistors >5 k	80	
	Flash-EPROM		80	

6.1.2 Stress factors

6.1.2.1 Models

The failure rate under operating conditions, from Equation (1), is:

$$\lambda = \lambda_{ref} \times \pi_U \times \pi_T \quad \text{for digital CMOS and bipolar analog ICs} \quad (9)$$

$$\lambda = \lambda_{ref} \times \pi_T \quad \text{for all other ICs} \quad (10)$$

The stress factors for voltage and temperature dependence are specified in 6.1.2.2 and 6.1.2.3, respectively.

6.1.2.2 Voltage dependence, factor π_U

The voltage dependence is only taken into account for digital CMOS and bipolar analog ICs, according to Equation (9). The constants C_1 , C_2 and C_3 given in Table 10 are used, unless other values are stated. The results are shown in Table 11 and Table 12.

Table 10 – Constants for voltage dependence

Integrated circuit	$U_{\text{ref}}/U_{\text{rat}}$	U_{ref}	C_1	C_2	C_3
Digital CMOS-family	–	5 V	0,1 V ⁻¹	1	–
Analog	0,7	–	–	4,4	1,4

Table 11– Factor π_U for digital CMOS-family ICs

U_{op} (V)	≤3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Factor π_U	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7

Table 12 – Factor π_U for bipolar analog ICs

$U_{\text{op}}/U_{\text{rat}}$	≤0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Factor π_U	0,75	0,77	0,80	0,87	1,0	1,3	1,8	3,0

6.1.2.3 Temperature dependence, factor π_T

The relationship given in Equation (5) applies only up to the rated junction temperature. The constants A , E_{a1} and E_{a2} given in Table 13 are used, unless other values have been stated. The results are shown in Table 14 and Table 15.

Table 13 – Constants for temperature dependence

	A	E_{a1} eV	E_{a2} eV
ICs (except EPROM, OTPROM, EEPROM, EAROM)	0,9	0,3	0,7
EPROM, OPTROM, EEPROM, EAROM	0,3	0,3	0,6

The factor π_T is obtained from Table 14 and Table 15:

- as a function of the actual virtual (equivalent) junction temperature;

$$\theta_{\text{op}} = \theta_{\text{amb}} + P \times R_{\text{th,amb}} \quad \text{in degrees Celsius,} \quad (11)$$

- and as a function of the virtual (equivalent) junction temperature under reference conditions (see 6.1);

$$\theta_{\text{ref}} = 40 + \Delta T_{\text{ref}} \quad \text{in degrees Celsius,} \quad (12)$$

where ΔT_{ref} is measured or calculated as $\Delta T_{\text{ref}} = P_{\text{ref}} \times R_{\text{th,amb}}$.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61709:2011

Table 14 – Factor π_T for ICs (without EPROM; FLASH-EPROM; OTPROM; EEPROM; EAROM)

θ_{ref} °C (see 5.6.1)	Factor π_T for θ_{op} (°C)																					
	≤25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	110	120	130	140	150	175
40	0,54	0,67	0,82	1	1,2	1,5	1,8	2,2	2,7	3,3	4,1	5,1	6,3	7,7	9,6	12	18	28	44	67	102	275
45	0,44	0,54	0,67	0,82	1	1,2	1,5	1,8	2,2	2,7	3,4	4,1	5,1	6,3	7,8	9,7	15	23	36	55	83	225
50	0,36	0,45	0,55	0,67	0,82	1	1,2	1,5	1,8	2,2	2,8	3,4	4,2	5,2	6,4	8	12	19	29	45	68	184
55	0,3	0,37	0,45	0,55	0,67	0,82	1	1,2	1,5	1,8	2,3	2,8	3,4	4,2	5,3	6,5	10	16	24	37	56	150
60	0,24	0,3	0,37	0,45	0,55	0,67	0,82	1	1,2	1,5	1,8	2,3	2,8	3,5	4,3	5,3	8,2	13	20	30	46	123
65	0,2	0,24	0,3	0,37	0,45	0,55	0,67	0,82	1	1,2	1,5	1,9	2,3	2,8	3,5	4,4	6,7	10	16	24	37	100
70	0,16	0,2	0,24	0,3	0,37	0,45	0,54	0,67	0,82	1	1,2	1,5	1,9	2,3	2,9	3,6	5,5	8,5	13	20	30	82
75	0,13	0,16	0,2	0,24	0,3	0,36	0,44	0,54	0,66	0,81	1	1,2	1,5	1,9	2,3	2,9	4,5	6,9	11	16	25	67
80	0,11	0,13	0,16	0,2	0,24	0,29	0,36	0,44	0,54	0,66	0,81	1	1,2	1,5	1,9	2,3	3,6	5,69	8,6	13	20	54
85	0,087	0,11	0,13	0,16	0,2	0,24	0,29	0,36	0,44	0,54	0,66	0,81	1	1,2	1,5	1,9	2,9	4,5	7	11	16	44
90	0,07	0,086	0,11	0,13	0,16	0,19	0,24	0,29	0,35	0,43	0,53	0,66	0,81	1	1,2	1,5	2,4	3,7	5,6	8,7	13	36
95	0,057	0,07	0,085	0,1	0,13	0,16	0,19	0,23	0,29	0,35	0,43	0,53	0,65	0,81	1	1,2	1,9	3	4,6	7	11	29
100	0,046	0,056	0,069	0,084	0,1	0,13	0,15	0,19	0,23	0,28	0,35	0,43	0,53	0,65	0,81	1	1,5	2,4	3,7	5,6	8,5	23

Table 15 – Factor π_T for EPROM, FLASH-EPROM, OTPROM, EEPROM, EAROM

		Factor π_T for θ_{op} ($^{\circ}\text{C}$)																					
		≤ 25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	110	120	130	140	150	175
55		0,16	0,22	0,3	0,41	0,55	0,75	1	1,3	1,8	2,3	3,1	4,0	5,2	6,7	8,6	11	18	28	43	65	96	238

6.2 Discrete semiconductors

6.2.1 Reference conditions

The following recommendations for reference temperatures given in Table 16 to

Table 19 are based on a component ambient temperature of 40 °C and correspond to the majority of applications of components in equipment.

The reference self-heating, $\Delta T_{\text{ref}} = P_{\text{ref}} \times R_{\text{th,amb}}$, shall be given when using other reference temperatures as stated in the tables. When stating a failure rate for an ambient temperature of 40 °C, the reference power dissipation, P_{ref} , and the thermal resistance, $R_{\text{th,amb}}$, to the environment for which this value holds shall also be given.

For discrete semiconductors there are two thermal resistances generally considered; one between the junction and the case, the other between the case and the environment. The thermal resistance, $R_{\text{th,amb}}$ above should be the one that is most significant in the application under consideration.

Table 16 – Transistors common, low frequency

Component		θ_{ref} °C	Note
Bipolar, universal, e.g.	TO18, TO92, SOT(D)(3)23 or similar	55	$U_{\text{ref}}/U_{\text{rat}} = 0,5$
Transistor arrays		55	
Bipolar, low power, e.g.	TO5, TO39, SOT223, SO8, SMA-SMC	85	
Bipolar, power, e.g.	TO3, TO220, D(D)-Pack	100	
FET	junction	55	
	MOS	55	
MOS power (SIPMOS)	e.g. TO3, TO220, D(D)-Pack	100	

Table 17 – Transistors, microwave, e.g. RF >800 MHz

Component		θ_{ref} °C	Note
Bipolar	wide band, small signal power	55	$U_{\text{ref}}/U_{\text{rat}} = 0,5$
		125	
GaAs FET	small signal low noise	95	
		110	
		145	
MOSFET	wide band, small signal power	55	
		125	

Table 18 – Diodes

Component	θ_{ref} °C	Note
Universal diode (also with avalanche characteristics)	55	–
Schottky diode	55	
Limiting diode (suppressor diode)	40	
Zener diode ($P_{tot} < 1$ W) voltage protection ^a	40	
Zener diode, power stabilization ^b	100	
Reference diode	45	
Microwave diode, small signal	detector diode	
	capacitance diode	
	mixer diode	
	pin diode	
Microwave diode, power	storage varactor	
	gun diode	
	impatt diode	
	pin diode	
High-voltage rectifier diode	85	
^a If applied for voltage protection the calculation can be made without accounting for self-heating ($\theta_{ref} = 40$ °C). ^b If used for stabilization, then the calculation shall take self-heating into account.		

Table 19 – Power semiconductors

Component	θ_{ref} °C	Note
Rectifier diodes (also with avalanche characteristics)	70	–
Rectifier bridges	85	
Schottky diodes	85	
Thyristors	85	
Triacs, diacs	85	
Specialized and custom-made power semiconductors	Consult manufacturer	

6.2.2 Stress factors

6.2.2.1 General

The specific stress models are given for converting the failure rates between different conditions. These stress models contain constants which are average values for the individual component types from various manufacturers (determined from field experience and laboratory tests).

6.2.2.2 Models

The failure rate under operating conditions, from Equation (2), is as follows:

$$\lambda = \lambda_{ref} \times \pi_U \times \pi_T \quad \text{for transistors} \quad (13)$$

$$\lambda = \lambda_{\text{ref}} \times \pi_T \quad \text{for diodes}^1 \text{ and power semiconductors}^2 \quad (14)$$

The stress factors for voltage and temperature dependence are given in 6.2.2.3 and 6.2.2.4 respectively. Current may also be a significant factor.

6.2.2.3 Voltage dependence for transistors, factor π_U

The voltage dependence is only taken into account for transistors according to Equation (13). The constants C_2 and C_3 given in Table 20 are used, unless other values are stated. The results are shown in Table 21.

Table 20 – Constants for voltage dependence of transistors

$U_{\text{ref}}/U_{\text{rat}}$	C_2	C_3
0,5	8,0	1,4

Table 21 – Factor π_U for transistors

$U_{\text{op}}/U_{\text{rat}}$	$\leq 0,6$	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1
Factor π_U	1	1,04	1,08	1,14	1,26	1,46	1,82	2,52	4

6.2.2.4 Temperature dependence, factor π_T

The relationship given in Equation (5) applies only up to the maximum permissible junction temperature. The constants A , E_{a1} and E_{a2} given in Table 22 are used, unless other values have been stated. The results are shown in Table 23 and Table 24.

Table 22 – Constants for temperature dependence of discrete semiconductors

Component	A	E_{a1} eV	E_{a2} eV
Transistors, reference and microwave diodes	0,9	0,3	0,7
Diodes (without reference and microwave diodes)	1,0	0,4	–
Power semiconductors ^a			
^a Rectifier diodes, bridge rectifiers, Schottky diodes, thyristors, triacs and diacs.			

The factor π_T is obtained from Table 23 and Table 24:

- as a function of the actual junction temperature

$$\theta_{\text{op}} = \theta_{\text{amb}} + P \times R_{\text{th,amb}} \quad \text{in degrees Celsius} \quad (15)$$

- and as a function of the junction temperature under reference conditions (see 6.2.1)

$$\theta_{\text{ref}} = 40 + \Delta T_{\text{ref}} \quad \text{in degrees Celsius} \quad (16)$$

1 General purpose diodes, Schottky diodes, voltage regulators and Zener diodes.

2 Rectifier diodes, bridge diodes, thyristors, triacs and diacs.

where ΔT_{ref} is measured or calculated as $\Delta T_{\text{ref}} = P_{\text{ref}} \times R_{\text{th,amb}}$.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61709:2011

Table 23 – Factor π_T for transistors, reference and microwave diodes

θ_{ref} °C (see 6.2.1)	Factor π_T for θ_{op} (°C)																										
	≤25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	110	120	125	130	140	145	150	160	175	180	200
40	0,54	0,67	0,82	1	1,2	1,5	1,8	2,2	2,7	3,3	4,1	5,1	6,3	7,7	9,6	12	18	28	35	44	67	83	102	153	275	332	689
45	0,44	0,54	0,67	0,82	1	1,2	1,5	1,8	2,2	2,7	3,4	4,1	5,1	6,3	7,8	9,7	15	23	29	36	55	68	83	125	225	272	563
55	0,3	0,37	0,45	0,55	0,67	0,82	1	1,2	1,5	1,8	2,3	2,8	3,4	4,2	5,3	6,5	10	16	19	24	37	45	56	84	150	182	377
70	0,16	0,2	0,24	0,3	0,37	0,45	0,54	0,67	0,82	1	1,2	1,5	1,9	2,3	2,9	3,6	5,5	8,5	11	13	20	25	30	46	82	99	206
85	0,087	0,11	0,13	0,16	0,2	0,24	0,29	0,36	0,44	0,54	0,66	0,81	1	1,2	1,5	1,9	2,9	4,5	5,6	7	11	13	16	24	44	53	110
95	0,057	0,07	0,085	0,10	0,13	0,16	0,19	0,23	0,29	0,35	0,43	0,53	0,65	0,81	1	1,2	1,9	3	3,7	4,6	7	8,6	11	16	29	35	72
100	0,046	0,056	0,069	0,084	0,1	0,13	0,15	0,19	0,23	0,28	0,35	0,43	0,53	0,65	0,81	1	1,5	2,4	3,0	3,7	5,6	6,9	8,5	13	23	28	58
110	0,03	0,036	0,045	0,055	0,067	0,081	0,099	0,12	0,15	0,18	0,22	0,28	0,34	0,42	0,52	0,65	1	1,5	1,9	2,4	3,6	4,5	5,6	8,3	15	18	38
125	0,015	0,019	0,023	0,028	0,035	0,043	0,052	0,063	0,078	0,095	0,12	0,14	0,18	0,22	0,27	0,34	0,52	0,81	1	1,2	1,9	2,3	2,9	4,3	7,8	9,4	20
145	0,0066	0,0081	0,0099	0,012	0,015	0,018	0,022	0,027	0,033	0,041	0,05	0,061	0,076	0,094	0,12	0,14	0,22	0,34	0,43	0,53	0,81	1	1,2	1,85	3,3	4,0	8,3
160	0,0035	0,0054	0,0044	0,0066	0,0080	0,0098	0,012	0,015	0,018	0,022	0,027	0,033	0,041	0,054	0,063	0,074	0,12	0,19	0,24	0,3	0,44	0,54	0,67	1	1,87	2,2	4,6
180	0,0016	0,0020	0,0025	0,0030	0,0037	0,0045	0,0055	0,0067	0,0082	0,01	0,012	0,015	0,019	0,023	0,029	0,036	0,055	0,085	0,11	0,13	0,2	0,25	0,31	0,46	0,83	1	2,1

Table 24 – Factor π_T for diodes (without reference and microwave diodes) and power semiconductors

θ_{ref} °C (see 6.2.1)	Factor π_T for θ_{op} (°C)																										
	≤25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	110	120	125	130	140	145	150	160	175	180	200
40	0,47	0,61	0,79	1	1,3	1,6	2	2,4	3	3,7	4,4	5,4	6,5	7,7	9,2	11	15	20	24	27	36	41	47	61	87	98	151
55	0,24	0,31	0,4	0,51	0,64	0,80	1	1,2	1,5	1,9	2,3	2,7	3,3	3,9	4,7	5,5	7,6	10	12	14	18	21	24	31	44	50	77
70	0,13	0,17	0,21	0,27	0,35	0,43	0,54	0,67	0,82	1	1,2	1,5	1,8	2,1	2,5	3,0	4,1	5,6	6,5	7,5	9,9	11,3	13	17	24	27	41
85	0,074	0,095	0,12	0,16	0,2	0,25	0,31	0,38	0,46	0,57	0,69	0,83	1	1,2	1,4	1,7	2,3	3,2	3,7	4,3	5,6	6,4	7,3	9,5	14	15	23
100	0,044	0,056	0,072	0,092	0,12	0,15	0,18	0,22	0,28	0,34	0,41	0,49	0,59	0,71	0,84	1	1,4	1,9	2,2	2,5	3,3	3,9	4,4	5,6	8,0	9,0	14

6.3 Optoelectronic components

6.3.1 Reference conditions

The following recommendations for reference temperatures given in Table 25 to Table 29 are based on a component ambient temperature of 40 °C and correspond to the majority of applications of components in equipment.

The reference self-heating, $\Delta T_{\text{ref}} = P_{\text{ref}} \times R_{\text{th,amb}}$, shall be given when using reference temperatures other than those stated in the tables.

When stating a failure rate for an ambient temperature of 40 °C, the reference power dissipation, P_{ref} , and the thermal resistance, $R_{\text{th,amb}}$, to the environment for which this value holds shall also be given.

For optoelectronic components there are two thermal resistances generally considered; one between the junction and the case, the other between the case and the environment. The thermal resistance, $R_{\text{th,amb}}$, above should be the one that is most significant in the application under consideration.

Table 25 – Optoelectronic semiconductor signal receivers

Component	Reference junction temperature θ_{ref} °C	Note
Phototransistor plastic and hermetically enclosed	45	$U_{\text{ref}}/U_{\text{rat}} = 0,5$
Photodiode (Si and Si PIN, InP, InP APD, Ge, Ge APD)	45	–
Photo element	45	
Detector module	40	
Solar component	40	

Table 26 – LEDs, IREDs, laser diodes and transmitter components

Component	Reference junction temperature θ_{ref} °C	Note
LED visible light (radial and SMT, large power packages (>100 mA DC))	45	$I_{ref}/I_{rat} = 0,5$
LED IRED ((Al)GaAs, InP)	75	
Laser diode (GaAs 880 nm, InP 1 300 nm, InP 1 500 nm)	75	–
Laser array, pump laser / pump laser cooled (GaAs 980 nm, InP 1480 nm)	45	
Laser-transmitter modules	Consult manufacturer	
Displays (LED)	55	
Displays (LCD, vacuum florescence)	Consult manufacturer	
Semiconductor optical amplifier (SOA)	45	
Fibre (EDFA)	Consult manufacturer	
Modulators (InP, LiNbO ₃)	40	

Table 27 – Optocouplers and light barriers

Component		Reference junction temperature θ_{ref} °C	Note
Optocoupler	with bipolar output	55	—
	with FET output	65	
	with subsequent electronics	55	
	with subsequent power electronics	65	
Light barrier	with diode output / transistor output	55	
	with subsequent electronics	55	

Table 28 – Passive optical components

Component	Reference junction temperature θ_{ref} °C	Note
Optical waveguide connector (n-fold)	40	–
Optical fibre pigtail (one driver and one connector)	40	
Fibre	40	No temperature dependence to consider
Dispersion compensating fibre (DCF)	40	
Isolators	40	
Circulators	40	
Optical multiplexer, demultiplexer (thin film, arrayed-waveguide grating (AWG))	40	
Optical attenuators (fixed value, electromechanical)	40	
Switch (electromagnetical, MEMS)	40	
Coupler, splitter, filter (thin film, Bragg)	40	

Table 29 – Transceiver, transponder and optical sub-equipment

Component	Reference junction temperature θ_{ref} °C	Note
Transceiver, Transponder	40	—
SFF, SFP Xponder / long haul tunable	Consult manufacturer	
Optical spectrum analyser (OPA, complex / OSA, complex)		
Active dispersion compensator		
Wavelength selective switch		
Wavelength blocker		
Ground trip current (GTC) interrupter (electro-mechanical)	40	No temperature dependence to consider

6.3.2 Stress factors

6.3.2.1 General

The specific stress models are given for converting the failure rates between different conditions. These stress models contain constants. They are average values for the individual component types from various manufacturers (determined from field experience and laboratory tests).

6.3.2.2 Models

The failure rate under operating conditions according to Equation (2) is:

$$\lambda = \lambda_{ref} \times \pi_U \times \pi_T \quad \text{for phototransistors} \quad (17)$$

$$\lambda = \lambda_{ref} \times \pi_T \quad \text{for other optical semiconductor signal receivers,} \quad (18)$$

optocouplers and light barriers,
optical waveguide connectors, optical fibre pigtails,

transceivers, transponders

$$\lambda = \lambda_{\text{ref}} \times \pi_I \times \pi_T \quad \text{for light-emitting diodes (LEDs) and infrared-emitting diodes (IREDS)} \quad (19)$$

$$\lambda = \lambda_{\text{ref}} \quad \text{for other optical components} \quad (20)$$

The stress factors for voltage, current, and temperature dependence are given in 6.3.2.3 to 6.3.2.5.

6.3.2.3 Voltage dependence, factor π_U

The voltage dependence is only taken into account for phototransistors according to Equation (17). The constants C_2 and C_3 given in Table 30 are used, unless other values are stated. The results are shown in Table 31.

Table 30 – Constants for voltage dependence of phototransistors

$\frac{U_{\text{ref}}}{U_{\text{rat}}}$	C_2	C_3
0,5	8,0	1,4

Table 31 – Factor π_U for phototransistors

$\frac{U_{\text{op}}}{U_{\text{rat}}}$	$\leq 0,6$	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1
Factor π_U	1	1,04	1,08	1,14	1,26	1,46	1,82	2,52	4

6.3.2.4 Current dependence, factor π_I

The current dependence is only taken into account for LEDs and IREDS, according to Equation (19). The constants C_4 and C_5 given in Table 32 are used, unless other values are stated. The results are shown in Table 33.

Table 32 – Constants for current dependence of LEDs and IREDS

$\frac{I_{\text{ref}}}{I_{\text{rat}}}$	C_4	C_5
0,5	1,4	8,0

Table 33 – Factor π_I for LEDs and IREDS

$\frac{I_{\text{op}}}{I_{\text{rat}}}$	$\leq 0,6$	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1
Factor π_I	1	1,04	1,08	1,14	1,26	1,46	1,82	2,52	4

6.3.2.5 Temperature dependence, factor π_T

The relationship given in Equation (5) applies only up to the maximum permissible junction temperature. The values for the constant E_{a1} given in Table 34 are used, unless other values have been stated. The results are shown in Table 35.

Table 34 – Constants for temperature dependence of optoelectronic components

Component		E_{a1} eV
Optical semiconductor signal receiver	Si	0,3
	InP	0,7
	Ge	0,6
Light-emitting diodes (LED)		0,65
Infrared-emitting diodes (IRED)	(Al)GaAs	0,65
	InP	1,0
Semiconductor laser	GaAs	0,6
	InP	0,8
Optocoupler and light barriers		0,5
Optical waveguide connector; optical fibre pigtail		0,3
Transceiver, transponder		0,4

The factor π_T is obtained from Table 35:

- as a function of the actual junction temperature

$$\theta_{op} = \theta_{amb} + P_{op} \times R_{th,amb} \quad \text{in degrees Celsius} \quad (21)$$

- and as a function of the junction temperature under reference conditions (see 6.3.1);

$$\theta_{ref} = 40 + \Delta T_{ref} \quad \text{in degrees Celsius} \quad (22)$$

where ΔT_{ref} is measured or calculated as $\Delta T_{ref} = P_{ref} \times R_{th,amb}$

Table 35 – Factor π_T for optical components

Optical semiconductor signal receiver																	
	θ_{ref} °C	Factor π_T for θ_{op} (°C)															
		≤ 25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Si	40	0,57	0,69	0,83	1	1,2	1,4	1,7	2	2,3	2,6	3,1	3,5	4	4,6	5,3	6
	45	0,48	0,58	0,7	0,84	1	1,2	1,4	1,6	1,9	2,2	2,6	3	3,4	3,9	4,4	5
InP	40	0,27	0,42	0,66	1	1,5	2,2	3,3	4,8	6,8	9,7	14	19	26	36	48	65
	45	0,18	0,28	0,44	0,66	1	1,5	2,2	3,2	4,5	6,4	9	13	17	24	32	43
Ge	40	0,33	0,48	0,7	1	1,4	2	2,8	3,8	5,2	7	9,4	12	16	21	28	36
	45	0,23	0,34	0,49	0,7	1	1,4	1,9	2,7	3,7	4,9	6,6	8,8	12	15	20	25
LED (visible light and IRED)																	
	θ_{ref} °C	Factor π_T for θ_{op} (°C)															
		≤ 25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
(Al)GaAs	45	0,20	0,31	0,46	0,68	1	1,4	2,1	2,9	4,1	5,6	7,7	11	14	19	25	33
	55	0,099	0,15	0,22	0,33	0,49	0,7	1	1,4	2	2,7	3,7	5,1	6,9	9,2	12	16
	75	0,026	0,04	0,06	0,088	0,13	0,19	0,27	0,38	0,53	0,73	1	1,4	1,8	2,4	3,2	4,3
InP	75	0,004	0,007	0,013	0,024	0,043	0,076	0,13	0,22	0,37	0,62	1	1,6	2,5	4	6,1	9,3
Semiconductor laser																	
	θ_{ref} °C	Factor π_T for θ_{op} (°C)															
		≤ 25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
GaAs	75	0,035	0,051	0,074	0,11	0,15	0,21	0,3	0,41	0,55	0,75	1	1,3	1,7	2,3	3	3,8
InP	75	0,035	0,051	0,074	0,11	0,15	0,21	0,3	0,41	0,55	0,75	1	1,3	1,7	2,3	3	3,8
Optocoupler and light barrier																	
	θ_{ref} °C	Factor π_T for θ_{op} (°C)															
		≤ 25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
	55	0,17	0,23	0,32	0,43	0,57	0,76	1	1,3	1,7	2,2	2,8	3,5	4,4	5,5	6,8	8,5
	65	0,1	0,14	0,19	0,25	0,34	0,45	0,59	0,77	1	1,3	1,6	2,07	2,6	3,3	4,05	5,01
Optical waveguide connector; optical fibre pigtail; modulator; wavelength selective switch; wavelength blocker																	
	θ_{ref} °C	Factor π_T for θ_{op} (°C)															
		≤ 25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
	40	0,57	0,69	0,83	1	1,2	1,4	1,7	2	2,3	2,6	3,1	3,5	4	4,6	5,3	6
Transceiver, transponder																	
	θ_{ref} (°C)	Factor π_T for θ_{op} (°C)															
		≤ 25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
	40	0,47	0,61	0,79	1	1,3	1,6	2	2,4	3	3,7	4,4	5,4	6,5	7,7	9,2	11

6.4 Capacitors

6.4.1 Reference conditions

The recommendations for reference temperatures given in Table 36 are based on a component ambient temperature of 40 °C and correspond to the majority of applications of components in equipment.

Table 36 – Capacitors

Type of capacitor	Reference capacitor temperature θ_{ref} °C	Note
Metal foil	40	50 % of rated voltage at 40 °C $U_{\text{ref}} / U_{\text{rat}} = 0,5$
Polystyrol, polypropylene, polycarbonate, polyethylene terephthalate		
Metallized film		
Polypropylene, polycarbonate, polyethylene terephthalate, acetyl cellulose		
Metallized paper (film)		
Mica		
Glass		
Acetyl cellulose		
Ceramic		
Tantalum electrolytic – non-solid electrolyte – solid electrolyte	40	80 % of rated voltage at 40 °C $U_{\text{ref}} / U_{\text{rat}} = 0,8$
Aluminium electrolytic non-solid electrolyte solid electrolyte		
Variable	40	–

6.4.2 Stress factors

6.4.2.1 Model

The failure rate under operating conditions according to Equation (2) is:

$$\lambda = \lambda_{\text{ref}} \times \pi_U \times \pi_T^3 \quad (23)$$

The stress factors for voltage and temperature dependence are given in 6.4.2.2 and 6.4.2.3.

6.4.2.2 Voltage dependence, factor π_U

The voltage dependence is only taken into account for fixed capacitors, according to Equation (23).

³ Aluminium electrolytic components with non-solid electrolyte are electrochemical components with an especially wide technology range. Therefore the given constants and factors are just estimates of the values. More specific values may be given in the relevant component specifications or may be agreed upon between user and manufacturer.

For variable capacitors, $\pi_U = 1$.

The constants C_2 and C_3 given in Table 37 are used, unless other values are stated. The results are shown in Table 38.

Table 37 – Constants for voltage dependence of capacitors

Type of capacitor	$\frac{U_{ref}}{U_{rat}}$	C_2	C_3
Paper, metallized paper Metallized polypropylene film Metallized polyethylene terephthalate film Metallized cellulose acetate film	0,5	1,07	3,45
Polycarbonate film metal foil Metallized polycarbonate film	0,5	1,50	4,56
Polystyrene film Polyethylene terephthalate film metal foil Polypropylene film metal foil	0,5	1,29	4,0
Glass	0,5	1,11	4,33
Mica	0,5	1,12	2,98
Ceramic	0,5	1,0	4,0
Aluminium electrolytic, non-solid electrolyte	0,8	1,0	1,36
Aluminium electrolytic, solid electrolyte	0,8	1,9	3,0
Tantalum electrolytic, non-solid electrolyte	0,5	1,0	1,05
Tantalum electrolytic, solid electrolyte	0,5	1,04	9,8

Table 38 – Factor π_U for capacitors

Type of capacitor	Factor π_U for U_{op}/U_{rat}									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Paper, metallized paper Metallized polypropylene film Metallized polyethylene terephthalate film Metallized cellulose acetate film	0,26	0,36	0,50	0,71	1,0	1,40	2,0	2,9	4,2	6,1
Polycarbonate film metal foil Metallized polycarbonate film	0,23	0,30	0,42	0,63	1,0	1,7	2,9	5,2	9,8	19
Polystyrene film Polyethylene terephthalate film metal foil Polypropylene film metal foil	0,24	0,32	0,45	0,66	1,0	1,5	2,4	3,9	6,4	11
Glass	0,19	0,28	0,42	0,64	1,0	1,6	2,5	4,0	6,3	10
Mica	0,32	0,42	0,55	0,74	1,0	1,4	1,9	2,6	3,6	5
Ceramic	0,20	0,30	0,45	0,67	1,0	1,5	2,2	3,3	5,0	7,4
Aluminium electrolytic, non-solid electrolyte	0,39	0,44	0,51	0,58	0,67	0,76	0,87	1,0	1,2	1,3
Aluminium electrolytic, solid electrolyte	0,15	0,16	0,19	0,24	0,31	0,44	0,64	1,0	1,6	2,8
Tantalum electrolytic, non-solid electrolyte	0,66	0,73	0,81	0,90	1,0	1,1	1,2	1,4	1,5	1,7
Tantalum electrolytic, solid electrolyte	0,021	0,054	0,14	0,37	1,0	2,7	7,4	20	56	154

6.4.2.3 Temperature dependence, factor π_T

The relationship given in Equation (6) applies only up to the maximum permissible component temperature. The constants A , E_{a1} and E_{a2} given in Table 39 are used, unless other values have been stated. The results are shown in Table 40.

Table 39 – Constants for temperature dependence of capacitors

Type of capacitor	A	E_{a1} eV	E_{a2} eV
Paper Metallized paper Metallized polypropylene film Metallized polyethylene terephthalate film Metallized acetyl cellulose film Polyethylene terephthalate film metal foil Polypropylene film metal foil Polystyrene film metal foil Metallized paper film	0,999	0,5	1,59
Polycarbonate film metal foil Metallized polycarbonate film	0,998	0,57	1,63
Glass, mica	0,86	0,27	0,84
Ceramic	1,0	0,35	–
Aluminium electrolytic, non-solid electrolyte	0,87	0,5	0,95
Aluminium electrolytic, solid electrolyte	0,40	0,14	0
Tantalum electrolytic, non-solid electrolyte	0,35	0,54	0
Tantalum electrolytic, solid electrolyte	0,961	0,27	1,1
Variable	1,0	0,15	–

- The factor π_T is obtained from Table 40. Table 40 as a function of the actual capacitor temperature

$$\theta_{op} = \theta_{amb} + \Delta T \quad \text{in degrees Celsius} \quad (24)$$

where ΔT is the temperature change due to operating conditions;

- and as a function of the capacitor temperature under reference conditions (see Table 36);

$$\theta_{ref} = 40 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{in degrees Celsius,} \quad (25)$$

Table 40 – Factor π_T for capacitors

Type of capacitor	Capacitor temperature under reference conditions θ_{ref} °C	Factor π_T for θ_{op} (°C) ^a													
		≤ 20	30	40	50	60	70	80	85	90	100	105	110	120	125
Paper Metallized paper Metallized polypropylene film Metallized polyethylene terephthalate film Metallized acetyl cellulose film Polyethylene terephthalate film metal foil Polypropylene film metal foil Polystyrene film metal foil Metallized paper film	40	0,28	0,54	1,0	1,8	3,1	5,2	9	12	16	33	49	77	210	350
Polycarbonate film metal foil Metallized polycarbonate film	40	0,24	0,50	1,0	1,9	3,6	6,7	13	18	27	63	100	170	510	900
Glass, mica	40	0,45	0,67	1,0	1,5	2,5	4,2	7,5	10	–	–	–	–	–	–
Ceramic	40	0,41	0,65	1,0	1,5	2,2	3,1	4,4	5,1	6	8,1	9,3	11	14	16
Aluminium electrolytic, non-solid electrolyte	40	0,26	0,51	1,0	1,9	3,7	7,2	14	20	28	55	77	110	210	290
Aluminium electrolytic, solid electrolyte	40	0,88	0,94	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,6	1,8	1,8
Tantalum electrolytic, non-solid electrolyte	40	0,74	0,83	1,0	1,3	1,8	2,7	4	5	–	–	–	–	–	–
Tantalum electrolytic, solid electrolyte	40	0,49	0,7	1,0	1,45	2,2	3,7	7	10	15	32	49	73	170	250
Variable	40	0,68	0,83	1,0	1,2	1,4	1,6	1,9	2	2,2	2,5	2,6	2,8	3,1	3,3

^a The relationships given apply up to the rated capacitor temperature only.

6.5 Resistors and resistor networks

6.5.1 Reference conditions

The recommendations for reference resistor element temperatures given in Table 41 are based on a component ambient temperature of 40 °C and correspond to the majority of applications of components in equipment. The reference self-heating, ΔT_{ref} , shall be given when using other reference temperatures.

Table 41 – Resistors and resistor networks

Component	Reference resistor element temperature θ_{ref} °C	Note
Carbon film	55	50 % of rated power at 40 °C $P_{\text{ref}}/P_{\text{rat}} = 0,5$
Metal film	55	
Networks (film circuits) per resistor element	55	
Metal-oxide	85	
Wire-wound	85	
Variable	55	

6.5.2 Stress factors

6.5.2.1 Model

The failure rate under operating conditions according to Equation (2) is:

$$\lambda = \lambda_{\text{ref}} \times \pi_T \quad (26)$$

The stress factors for temperature dependence are given in 6.5.2.2.

6.5.2.2 Temperature dependence, factor π_T

The relationship given in Equation (6) applies only up to the maximum permissible resistor element temperature. The constants A , E_{a1} and E_{a2} given in Table 42 are used, unless other values have been stated. The results are shown in Table 43.

Table 42 – Constants for temperature dependence of resistors

A	E_{a1} eV	E_{a2} eV
0,873	0,16	0,44

The factor π_T is obtained from Table 43:

- as a function of the average actual temperature of the resistor element

$$\theta_{\text{op}} = \theta_{\text{amb}} + \Delta T \quad \text{in degrees Celsius} \quad (27)$$

where $\Delta T = P \times R_{\text{th,amb}} = (\theta_{\text{max}} - 40) \times (P/P_{\text{rat}})$, in degrees Celsius, is the temperature change due to operation (with θ_{max} as maximum resistor element temperature);

- and as a function of the average temperature of the resistor element under reference conditions (see Table 41);

$$\theta_{\text{ref}} = 40 + \Delta T_{\text{ref}} \quad \text{in degrees Celsius} \quad (28)$$

Table 43 – Factor π_T for resistors

Component	θ_{ref} °C (see 6.5.1)	Factor π_T for θ_{op} (°C)											
		≤ 25	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	125
Resistors	55	0,49	0,56	0,71	0,89	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6	4,6	5,1
	85	0,25	0,28	0,35	0,45	0,56	0,71	0,89	1,1	1,4	1,8	2,3	2,6

6.6 Inductors, transformers and coils

6.6.1 Reference conditions

The recommendations for reference temperatures given in the Table 44 are based on a component ambient temperature of 40 °C and correspond to the majority of applications of components in equipment. The reference self-heating, ΔT_{ref} , shall be given when using other reference temperatures.

Table 44 – Inductors, transformers and coils

Component	Average reference winding temperature θ_{ref} °C	Note
Inductors for EMC applications	≤ 3A > 3A	50 % of rated power at 40 °C $P_{ref} / P_{rat} = 0,5$
Low frequency inductors and transformers	≤ 25 kHz	
High frequency inductors and transformers	> 25 kHz	
Mains transformers and transformers for switched-mode power supplies	85	

6.6.2 Stress factors

6.6.2.1 Model

The failure rate under operating conditions according to Equation (2) is:

$$\lambda = \lambda_{ref} \times \pi_T \quad (29)$$

The stress factors for temperature dependence are given in 6.6.2.2.

6.6.2.2 Temperature dependence, factor π_T

The relationship given in Equation (6) applies only up to the maximum permissible winding temperature. The constants A , E_{a1} and E_{a2} given in Table 45 are used, unless other values have been stated. The results are shown in Table 46.

Table 45 – Constants for temperature dependence of inductors, transformers and coils

A	E_{a1} eV	E_{a2} eV
0,996	0,06	1,13

The factor π_T is obtained from Table 46:

- as a function of the actual average winding temperature

$$\theta_{op} = \theta_{amb} + \Delta T \quad \text{in degrees Celsius} \quad (30)$$

where ΔT is the temperature change due to operating conditions;

- and as a function of the average winding temperature under reference conditions (see Table 44);

$$\theta_{ref} = 40 + \Delta T_{ref} \quad \text{in degrees Celsius} \quad (31)$$

where ΔT_{ref} is measured or calculated at $0,5 \times P_{rat}$.

Table 46 – Factor π_T for inductors, transformers and coils

Component	θ_{ref} °C (see 6.6.1)	Factor π_T for θ_{op} (°C)												
		≤ 25	30	40	50	60	70	80	85	90	100	110	120	125
Inductors, transformers, coils	55	0,79	0,82	0,89	0,96	1,1	1,2	1,5	1,9	2,3	4,3	8,8	19	29
	60	0,75	0,78	0,84	0,91	1	1,1	1,5	1,8	2,2	4	8,4	18	27
	85	0,43	0,44	0,48	0,52	0,57	0,66	0,83	1	1,3	2,3	4,8	10	15

6.7 Microwave devices

6.7.1 Reference conditions

The reference conditions are given in the Table 47.

Table 47 – Microwave devices

Component	Reference component temperature θ_{ref} °C	Note
Microwave elements	40	Temperature and electrical stress have no impact on the failure rates
Coaxial and wave guides		
Load		
Attenuator fixed		
Attenuator variable		
Fixed elements		
Directional couplers		
Fixed stubs		
Cavities		
Variable elements		
Tuned stubs	40	
Tuned cavities		
Ferrite device (transmitter)		
Ferrite device (receiver)		
RF/microwave passives		
Filter		
Isolator		

Component	Reference component temperature θ_{ref} °C	Note
Circulator		
Splitter/combiner		
Synthesizer		

6.7.2 Stress factors

No values are currently known from experience in applying temperature and electrical stresses.

6.8 Other passive components

6.8.1 Reference conditions

The reference conditions are given in the Table 48.

Table 48 – Other passive components

Component	Reference component temperature θ_{ref} °C	Note
Varistors	40	Temperature and electrical stress have no impact on the failure rates
PTC thermistors, NTC thermistors		
Surge arresters		
Ceramic resonators		
Filters		
Surface wave filters (SAW), Surface wave oscillators (SAW-oscillators), voltage controlled oscillators (VCO)		
Piezoelectric components (transducers and sensors)		
Crystals		
Crystal oscillators: XO (clock), VCXO (voltage controlled), TCXO (temperature compensated), OCXO (oven controlled)		
Feed-through capacitors, feed-through filters		
Fuses		

6.8.2 Stress factors

No values are currently known from experience in applying temperature and electrical stresses.

6.9 Electrical connections

6.9.1 Reference conditions

The reference conditions are given in the Table 49.

Table 49 – Electrical connections

Component	Conductor cross-section mm ²	θ_{ref} °C	Note
Solder (manual, machine)	–	40	50 % of rated current for the connected conductor $I_{ref} / I_{rat} = 0,5$
Wire bond for hybrid circuits (Al, Au)	–		
Wire-wrap	0,05 to 0,5		
Crimp (manual, machine)	0,05 to 300		
Termi-point	0,1 to 0,5		
Press in	0,3 to 2		
Insulation displacement	0,05 to 1		
Screw	0,5 to 16		
Clamp (elastic force)	0,5 to 16		

6.9.2 Stress factors

No values are currently known from experience in applying temperature and electrical stresses.

6.10 Connectors and sockets

6.10.1 Reference conditions

The reference conditions are given in the Table 50.

Table 50 – Connectors and sockets

Component	θ_{ref} °C	Note
Plug-in contacts that shall be inserted without electrical load (gold or comparably corrosion-resistant, silver, tin, others) NOTE These also include connectors that can be inserted with a limited electrical load according to the data sheet.	40	Operating current within the limits stated in the data sheet
Plug-in contacts that are intended to be inserted under electrical load		
Coaxial plugs		
Time period: up to the time interval that 90 % of the components survive.		
Duty cycle: for the electrical stress, the duty cycle is continuously or intermittently in operating state.		
Plugging frequency: ≤ 1 plugging cycle per 1 000 h.		

6.10.2 Stress factors

No values are currently known from experience in applying temperature and electrical stresses.

6.11 Relays

6.11.1 Reference conditions

The reference conditions are given in the Table 51.

Table 51 – Relays

Component	Electrical contact stress	θ_{ref} °C	Note
Low duty relays:	($0,5 < U \leq U_{rat}$) V a.c. and ($0 < I \leq 0,1$) A by resistive load	40	Operating current within the limits stated in the data sheet. Electrical contact stress (see stress regions in Figure 1)
General purpose relays:	($0 < U \leq 13$) V and ($0,1 < I \leq I_{rat}$) A by resistive load and a.c.		
Automotive relays:	($0 < U \leq 13$) V and ($0,1 < I \leq I_{rat}$) A by resistive load		
Time period:	up to the time interval that 90 % of the relays survive.		
Duty cycle:	the duty cycle can be chosen within the limits set by the relay's specification (for coil and contact assembly).		
Operating cycles:	up to the maximum number of operating cycles specified in the data sheet.		

6.11.2 Stress factors

6.11.2.1 Model

The failure rate under operating conditions is:

$$\lambda = \lambda_{ref} \times \pi_{ES} \times \pi_S \times \pi_T \quad (32)$$

where

π_{ES} is the electrical stress dependence factor;

π_S is the switching rate dependence factor;

π_T is the temperature dependence factor.

The values of the stress factors are given in 6.11.2.3 and 6.11.2.4.

6.11.2.2 Dependence on switching rate, factor π_S

This factor considers the number of operating cycles per hour, S . According to Equations (7) and (8):

$$\pi_S = 1 \text{ for } S \leq 1$$

$$\pi_S = S \text{ for } S > 1$$

6.11.2.3 Dependence on electrical stress, factor π_{ES}

The factors π_{ES} given in Table 52 to Table 54 are based on the selection of the stress region in Figure 1 and the type of load.

Contacts where surge suppression is used can be treated like contacts under resistive load.

The rated current, I_{rat} , and the rated switching voltage, U_{rat} , are obtained from the relay detail specification of the individual relay type.

If different electrical stress conditions are used, a stress profile should be considered (otherwise the higher stress factor should be applied).

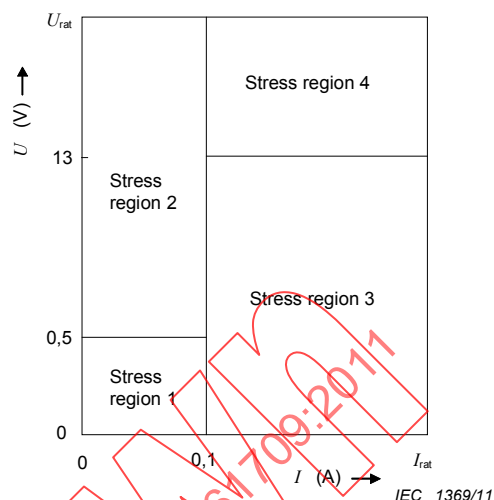


Figure 1 – Selection of stress regions in accordance with current and voltage-operating conditions

Table 52 – Factor π_{ES} for low current relays

Stress region (see Figure 1)	Factor π_{ES} for:		
	Resistive load	Capacitive ^a and incandescent lamp load	Inductive load
1	2	2	–
2	1	8	8
3	2	20	40
4	8	40	–

^a Maximum current peak (see relay detail specification) not to be exceeded.

Table 53 – Factor π_{ES} for general purpose relays

Stress region (see Figure 1)	Factor π_{ES} for:					
	Resistive load		Capacitive ^a and incandescent lamp load		Inductive load	
	DC	AC	DC	AC	DC	AC
1 Without Au-coating	50	50	2	1	–	–
With Au-coating	20	10	2	1	–	–
2	20	10	10	5	10	5
3	2	1	10	5	20	10
4	10	2	10	5	50	20

^a Maximum current peak (see relay detail specification) not to be exceeded.

Table 54 – Factor π_{ES} for automotive relays

Stress region (see Figure 1)	Factor π_{ES} ^a for:		
	Resistive load	Capacitive ^b and incandescent lamp load	Inductive load
3	1	2 (1)	2 (1)
4	1	2 (1)	5 (1)

^a Values in parentheses are valid for tungsten pre-contact.
^b Maximum current peak (see relay detail specification) not to be exceeded.

6.11.2.4 Temperature dependence, factor π_T

The relationships given in Equations (5) and (6) apply only up to the maximum permissible component temperature. The formula constants A , E_{a1} and E_{a2} given in Table 55 are used, unless other values have been stated.

Table 55 – Constants for temperature dependence of relays

Supporting construction	A	E_{a1} eV	E_{a2} eV
Plastic	1,0	0,175	–
Metal, glass, ceramic	0,006	0,646	0

The calculated factors π_T are shown in Table 56 and are dependent on the ambient temperature, θ_{amb} .

Table 56 – Facteur π_T for relays

Supporting construction	Factor π_T for the average ambient temperature θ_{amb} ^a			
	$\leq 40\text{ °C}$	70 °C	100 °C	125 °C
Plastic	1	1,8	2,8	4
Metal, glass, ceramic	1	1	1,3	2

^a Valid only up to the maximum permissible ambient temperature according to the relay detail specification.

6.12 Switches and push-buttons**6.12.1 Reference conditions**

The reference conditions are given in Table 57.

Table 57 – Switches and push-buttons

Component	Electrical contact stress	θ_{ref} °C	Note
Dip fix and encoding switches:	Within the limits of the data sheet	—	Operating current within the limits stated in the data sheet Electrical contact stress (see stress regions in 6.12.2, Figure 2)
Switches and push-buttons for light-current applications:	$(0,5 < U \leq U_{rat})$ V a.c. and $(0,1 < I \leq I_{rat})$ A by resistive load		
Switches and push-buttons for higher load:	$(0,5 < U \leq 13)$ V and $(0,1 < I \leq I_{rat})$ A by resistive load		
Time period:	Up to the time interval that 90 % of the switches and push-buttons survive.		
Duty cycle:	The duty cycle can be chosen within the limits set by the specification.		

6.12.2 Stress factors

6.12.2.1 Model

The failure rate under operating conditions is:

$$\lambda = \lambda_{ref} \times \pi_{ES} \quad (33)$$

where π_{ES} is the electrical stress dependence factor. The values of the stress factors are given in 6.12.2.2.

6.12.2.2 Dependence on electrical stress, π_{ES}

a) for dip fix, coding switches and foil push-buttons:

$$\pi_{ES} = 1$$

b) for other switches and push-buttons:

The factors π_{ES} given in Table 58 and Table 59 are based on the selection of the stress region in Figure 2 and the type of load.

The rated current, I_{rat} , and the rated switching voltage, U_{rat} , are obtained from the data sheet of the individual switches and push-button types.

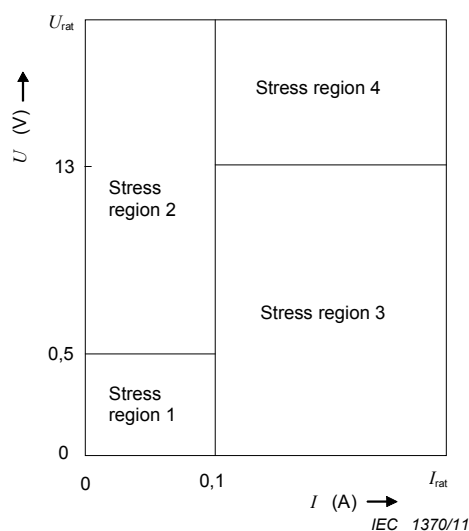


Figure 2 – Selection of stress regions in accordance with current and voltage-operating conditions

Table 58 – Factor π_{ES} for switches and push-buttons for low electrical stress

Stress region (see Figure 2)	Factor π_{ES} for:		
	Resistive load	Capacitive ^a and incandescent lamp load	Inductive load
1	2	2	–
2	1	8	8
3	2	20	40
4	8	40	–

^a Maximum current peak (see data sheet) not to be exceeded.

Table 59 – Factor π_{ES} for switches and push-buttons for higher electrical stress

Stress region (see Figure 2)	Factor π_{ES} for:					
	Resistive load		Capacitive ^a and incandescent lamp load		Inductive load	
	DC	AC	DC	AC	DC	AC
Without Au-coating	50	50	2	1	–	–
With Au-coating	20	10	2	1	–	–
2	20	10	10	5	10	5
3	2	1	10	5	20	10
4	10	2	10	5	50	20

^a Maximum current peak (see data sheet) not to be exceeded.

6.13 Signal and pilot lamps

6.13.1 Reference conditions

The reference conditions are given in Table 60.

Table 60 – Signal and pilot lamps

Component	Ambient temperature θ_{ref} °C	Note
Incandescent lamps	40	Rated voltage according to specifications
Glow lamps		
Time period: Up to the time interval that 93,5 % of the lamps survive.		
Duty cycle: The duty cycle is continuously in operating state; for intermittent operation the operating time is the sum of the periods alight.		

6.13.2 Stress factors

6.13.2.1 Model

The failure rate under operating conditions, as a function of the operating voltage, is calculated according to Equation (34) as follows:

(34)

6.13.2.2 Voltage dependence, factor π_U

The stress factor π_{U} for voltage dependence is given in Table 61.

Table 61 – Factor π_U for signal and pilot lamps

Type of lamp		Factor π_U for $U_{op}/U_{rat} =$										
		$\leq 0,70$	0,80	0,85	0,90	0,95	1,0	1,05	1,1	1,15	1,2	1,30
Incandescent lamps	Signal and pilot lamps; railway-signalling lamps; low voltage traffic-light lamps	0,02	0,10	0,20	0,30	0,60	1,0	1,70	3,0	4,50	7,0	17,0
	Halogen lamps	—	—	—	—	0,60	1,0	1,7	3,0	—	—	—
	High voltage traffic-light lamps	—	—	—	—	0,60	1,0	2,0	4,0	—	—	—
Glow lamps	(with necessary series resistance)	—	—	—	0,5	0,7	1	1,3	1,6	2,0	—	—

NOTE 1 The failure rate, irrespective of construction and stress, may be higher for DC operation, higher ambient temperature, stress due to mechanical impact and electrical surges of non-standard switching profiles.

NOTE 2 Consult the manufacturer for additional information.

NOTE 1 The failure rate, irrespective of construction and stress, may be higher for DC operation, higher ambient temperature, stress due to mechanical impact and electrical surges of non-standard switching profiles.

NOTE 2 Consult the manufacturer for additional information.

Annex A (normative)

Failure modes of components

The failure mode is a description of what constitutes failure for a particular component type. There are generally three types of failure – complete, partial or degraded and drift; however, most data handbooks do not make this distinction, giving a total failure rate of a component that represents failure in all modes.

However, information on failure modes is useful since it is the rate of occurrence of failure modes that is observed and is a useful input into reliability analysis, such as diagnostics coverage, and in safety analysis in order to calculate criticality of systems.

This annex contains details on summary failure modes that are useful for this purpose. These summary modes are higher level, usually as perceived at circuit level, than the actual physical modes that they represent and will often include within them a number of lower level modes.

The data presented herein has been derived from a number of sources such as those listed in Table D.1. The tables give a means of allocating estimated failure rate to specific failure modes when given a specific value for total failure rate.

For prediction purposes, component failure modes can be found in Table A.1 to Table A.4.

Table A.1 – Failure modes – Integrated circuits (ICs)(digital)

Component	Input/output fixed to 0 %	Input/output fixed to 1 %
ICs (digital)	50	50

Table A.2 – Failure modes – Transistors, diodes, optocouplers

Component		Short-circuit %	Open circuit %	Drift %
Transistors	Silicon	85	15	–
	GaAs	95	5	–
Diodes	Silicon	85	15	–
	GaAs	95	5	–
Optocouplers		10	50	40
Laser diodes		85	15	–

Table A.3 – Failure modes – Capacitors

Component			Short-circuit %	Open circuit %	Drift %
Ceramic	NPO-COG		70	10	20
	X7R-X5R		90	10	—
	5ZU-Y5V-Y4T		90	10	—
	Feedthrough capacitors		70	30	—
Aluminum electrolytic	Non-solid electrolyte	Nominal voltage < 350 V	30	30	40
		Nominal voltage > 350 V	50	—	50
	Solid electrolyte		10	90	—
Tantalum electrolytic	Non-solid electrolyte		80	20	—
	Solid electrolyte		80	20	—
Metallized film			10	90	—
Mica			40	40	20
Variable			40	10	50
Other technologies			10	90	—

Table A.4 – Failure modes – Resistors, inductive devices, relays

Component		Open circuit %	Short-circuit %	Drift %
Resistors	Carbon film	100	–	–
	Metal film	40	–	60
	Wire-wound	100	–	–
	Variable	80	–	20
	Resistors network	40	–	60
Inductive devices		80	20	–
Relays	General purpose	80	20	–
	Power relays	80	20	–
	Mercury relays	50	50	–
	Solid state relays	80	20	–
	Coaxial relays	80	20	–

Annex B **(informative)**

Failure rate prediction

B.1 General

Reliability predictions are conducted during the whole life cycle of equipment at various levels and degrees of detail, in order to evaluate, determine and improve the dependability of the equipment.

Successful reliability prediction of equipment generally requires a model that considers the structure of the equipment. The level of detail in that model will depend on the information available at the time (e.g. parts list, circuit diagram, etc.), and several reliability models are available depending on the problem (e.g. reliability block diagrams, fault tree analysis, state-space methods, etc.).

During the conceptual and early design phase, failure rate prediction is applicable to estimate equipment failure rate in order to check if reliability targets may be achieved and to help make decisions about the architecture for the product (e.g. use of redundancy, cooling, etc.).

The procedures in this standard can be used to carry out failure rate prediction at reference and operating conditions (parts count and parts stress method).

B.2 Failure rate prediction for assemblies

B.2.1 General

Failure rate prediction is usually performed at assembly level. Predictions are useful for several important activities in the life cycle of equipment where they are used, in addition to many other important procedures, to assure reliability goals.

Examples of such activities:

- assess whether reliability goals can be reached;
- identify and mitigate potential design weaknesses;
- compare alternative designs;
- evaluate designs;
- provide input data for higher level assembly dependability analysis;
- conduct cost calculations, e.g. life-cycle costs;
- establish objectives for reliability tests;
- plan logistic support strategies, e.g. spare parts and resources.

Failure rate prediction is often used in combination with other tools which can be used to improve the process of prediction by making it more representative of reality by allowing assembly structure and measures of importance to be introduced.

Failure rates to be used for spare parts provisioning and life-cycle costs calculation require particular attention. For these activities, failure rates should include all causes, even design errors, equipment and dependent (pattern) failures, to provide a realistic figure of what is happening or will happen in field during the operation phase of the life cycle. See also Annex C (data base).

B.2.2 Assumptions and limitations

Failure rate predictions are based on the following assumptions, resulting from focussing on physical failures occurring at random over time.

Assumptions of failure rate predictions are as follows:

- the prediction model assumes that a failure of any component will lead to a failure of the assembly. Component failure rates needed for the prediction are assumed to be constant for the time period considered. Although this is known to be realistic for some components for the majority it is not true, however the assumption greatly simplifies the task;
- component failures are treated as independent of each other. No distinction is made between complete, partial and drift failures;
- components are used within their specifications;
- design and manufacturing processes of the components and assembly under consideration are under control.

Limitations of failure rate predictions are as follows:

- they cannot provide proof that a reliability goal has been achieved;
- due to the statistical nature of the information available, prediction works best for large component and assembly counts;
- results are dependent on the trustworthiness of the source data;
- the assumption of constant component failure rates may not always be true. In such cases this method may lead to incorrect results. Other models may need to be used to determine end-of-life or life expectancy;
- failure rate data books and stress models may not exist for new component types;
- stresses that are not considered may predominate and influence the failure rate.

B.2.3 Process for failure rate prediction

The process for reliability prediction using failure rates consists of the following steps:

- a) Define and understand the assembly to be analysed:
 - obtain information on structure, such as functional and reliability block diagrams, if available, in order to check if series assumption is valid;
 - obtain bill of materials or part lists;
 - obtain component specifications or data sheets for all components used in cases where parts stress analysis is to be carried out;
 - obtain circuit diagrams and schematic diagrams if needed;
 - define the boundaries from the assembly specifications and schematic diagrams;
 - identify the functions and specification of the assembly, in particular understanding what a failure is.
- b) When carrying out failure rate prediction at operating conditions, obtain information on operating conditions for each component when different from stated reference conditions:
 - identify the operating temperatures;
 - determine the actual electrical stresses;
 - determine operating profiles if necessary;
 - identify relevant environmental stresses;
 - select the data source according to the guidance given in Annex D;
 - use the stress models as defined in 5.2;

- sum up the component failure rates.
- c) Document the results, justification for choices and any assumptions made:
- no guidance on presentation of results is given since many organizations define their own report structure or use those predefined in commercial software;
 - the justification process for the data sources and methods used should be documented;
 - any assumptions made should be listed so that the validity of the prediction can be assessed.

B.2.4 Prediction models

B.2.4.1 General

The failure rate of the assembly is calculated by summing up the failure rates of each component in each category. This applies under the assumption that a failure of any component is assumed to lead to equipment failure otherwise known as a chain or series configuration.

The following models assume that the component failure rate under reference or operating conditions is constant. Justification for use of a constant failure rate assumption should be given. This may take the form of analyses of likely failure mechanisms, related failure distributions, etc.

B.2.4.2 Failure rate prediction at reference conditions (Parts count)

If the time to failure is exponentially distributed over the considered time interval then the failure rate for equipment in a series configuration under reference conditions is calculated as follows:

$$\lambda_S = \sum_{i=1}^n (\lambda_{ref})_i \quad (B.1)$$

where

λ_{ref} is the failure rate under reference conditions;
 n is the number of components.

The reference conditions adopted are typical for the majority of applications of components in equipment. It is assumed that the failure rate used under reference conditions is specific to the component, i.e. it includes the effects of complexity, technology of the casing, different manufacturers and the manufacturing process, etc.

B.2.4.3 Failure rate prediction at operating conditions (Parts stress analysis)

Components may not always operate under the reference conditions. In such cases, the real operational conditions will result in failure rates different from those given for reference conditions. Therefore, models for stress factors, by which failure rates under reference conditions can be converted to values applying for operating conditions (actual ambient temperature and actual electrical stress on the components), and vice versa, may be needed.

The failure rate for assemblies under operating conditions is calculated as follows:

$$\lambda_S = \sum_{i=1}^n (\lambda)_i = \sum_{i=1}^n (\lambda_{ref} \times \pi_U \times \pi_I \times \pi_T \times \pi_E \times \pi_S \times \pi_{ES})_i \quad (B.2)$$

where

- λ_{ref} is the failure rate under reference conditions;
- π_U is the voltage dependence factor;
- π_I is the current dependence factor;
- π_T is the temperature dependence factor;
- π_E is the environmental application factor;
- π_S is the switching rate dependence factor;
- π_{ES} is the electrical stress dependence factor;
- n is the number of components.

In Clause 6 specific stress models and values for component categories are given for the π -factors and should be used for converting reference failure rates to field operational failure rates. However, if more specific models are applicable for particular component types then these models should be used and their usage justified and documented.

Conversion of failure rates is only possible within the specified functional limits of the components.

B.2.5 Consideration of operating profiles

B.2.5.1 General

The duration of stress (sum of rated operating times, and non-operating times) can affect the failure rate. A (maximum) time period of stress over which failure rate was observed should therefore always be included in a failure rate specification. This is the time in which the given constant failure rate can be expected to occur.

Mechanical stresses of components higher than those permitted by the component specification should be avoided by the appropriate equipment design. If higher stresses cannot be avoided, they should be taken into account when performing the equipment reliability prediction.

B.2.5.2 Operating profile for components

Components are sometimes not continuously stressed during the operating time of equipment. There can be breaks with no electrical stress during operating periods of the assembly. This can be taken into account by the stress factor for operating profile, π_{op} . The failure rate for intermittent operation is then obtained using Equation (B.3):

$$\lambda_{op} = \lambda \times \pi_{op} \quad (\text{B.3})$$

with

$$\pi_{op} = W + \rho \times (1 - W) \quad (\text{B.4})$$

where

- λ is the failure rate for the specific component:
 - for failure rate predictions at reference conditions, $\lambda = \lambda_{\text{ref}}$;
 - for failure rate predictions at operating conditions, the failure rate according to the equations stated in Clause 6 based on Equation (2).

- π_{op} is the stress factor for operating profile;
- W is the ratio of operating time of component with stress to operating time of equipment, $0 \leq W \leq 1$;
- ρ is a constant. This is the proportion of components that fail with no electrical stress applied and this takes into account that even non-stressed components may fail, $0 \leq \rho \leq 1$; a typical assumption is $\rho = 0,1$ when no values are known from experience.

B.2.5.3 Operating profile for assemblies

The failure rate depends on the stress. For example, if an assembly is in operation 24 h a day then it will, on average, fail more often in one year as the same assembly that is only in operation 12 h a day, assuming that the operating conditions are similar. A failure rate prediction can also consider different stress levels. By consideration of stress duration and stress levels, the difference between predicted failure rates and the observed failure rates can be kept low.

The actual stresses occurring with alternating stress levels can be combined to one stress profile. A stress profile states the actual duration of stress levels during a defined calendar time, e.g. one day. Figure B.1 shows a possible stress profile over one day.



Figure B.1 – Stress profile

The failure rate for alternating stress, λ_{as} , as shown in Figure B.2 is the weighted average of the failure rates under different stress levels.

$$\lambda_{as} = \frac{1}{t_f + t_p + t_i} (t_f \lambda_f + t_p \lambda_p + t_i \lambda_i) \quad (B.5)$$

where

- t_f is the fraction of time with full stress;
- t_p is the fraction of time with part stress;
- t_i is the fraction of time at idle;
- λ_f is the failure rate at full stress for the assembly;
- λ_p is the failure rate at part stress for the assembly;
- λ_i is the failure rate during time at idle for the assembly.

The failure rate during idle time will be assumed to be $\lambda_i = 0,1 \times \lambda_f$, if no other information is available.



Figure B.2 – Averaging failure rates

B.2.6 Other methods of reliability prediction

B.2.6.1 Similarity analysis

Similarity analysis includes the use of in-service equipment performance data to compare newly designed equipment with predecessor equipment for predicting end item reliability when the uses and stresses are similar. The method of similarity analysis is described in IEC 62308.

B.2.6.2 Simulation

Simulation is an empirical approach to equipment modelling that can allow the building of real-world models and attempt to use them to predict what is likely to happen to equipment in the future. The underlying techniques used in this process involve random sampling from failure distributions, and representation of equipment structure using such techniques as mathematical models, reaction kinetics models and empirical models. These techniques allow the building of fairly realistic models of complex equipment that can be used to understand their failure behaviour under various operating conditions and predict what the reliability will be at some future time.

B.2.6.3 Testing

Failure rate data can also be obtained from tests. It can be from testing of equipment or components. Normally testing of equipment is carried out by the equipment manufacturer while testing of components is usually carried out by the component manufacturer.

The test conditions will seldom be the same as the reference conditions; often the test will be accelerated, i.e. with increased stresses compared to the reference conditions. In these cases the failure rate information has to be transformed to reference conditions using the equations given in Clause 6. The failure rate should be estimated based on statistical models such as, for example, the exponential distribution, the Weibull distribution, the normal distribution or the lognormal distribution.

In many cases no failures will occur during the test, in that case the manufacturer will often state the failure rate as 60 % upper confidence limit. However to compare this data with data

from the field which is often stated as 50 % upper confidence limit, the test data will have to be transformed to 50 % upper confidence limit.

When reporting failure rates based on test, the test conditions should be listed together with the statistical estimation of the failure rates and any transformation from test conditions to reference conditions. The empirical factors used for this transformation should be justified.

Care should be taken that the stress in an accelerated test does not introduce failure modes that are not relevant for the use of the component.

B.2.6.4 Physics-of-failure

Physics-of-failure is an approach to reliability prediction modelling where the goal is to use physical principles with appropriate failure probability density distributions to design for failure-free operation and/or specify reliability targets and to predict failure times for components. It uses knowledge of root-cause failure processes in an attempt to identify the "weakest link" of a design to ensure that the planned equipment life is exceeded by the design. The approach can also be used for new components made from new materials, technologies and processes if basic physical and stress information is available. This methodology addresses the useful life of a product.

B.2.7 Validity considerations of reliability models and predictions

To use any quantitative reliability prediction method it is necessary to be aware of its validity. Like all engineering models, the failure rate models are approximations of reality, and are based on the best field data that could be obtained for a wide variety of parts and equipment. This data is then analyzed and adapted, with many simplifying assumptions, to create usable models. Then when a model is used, further assumptions for the design parameters such as stress and temperature are made.

Thus a reliability prediction for equipment should not be treated as an absolute value for its field failure rate. It is generally agreed that these predictions can be good when used for relative comparisons, such as comparing design alternatives, or comparing equipment. Note also that reliability predictions do not account for unsuitable design decisions, substandard quality control for purchased parts, bad workmanship, poor product level quality control, overstressed field operation, etc.

Arguments for the reliability models and predictions, as given in this standard, are as follows:

- often reliance is placed on failure rate data gathered from a variety of sources representing average conditions however the accuracy and validity of such data may be questionable;
- for new technology components, failure rate data may not be available for all components as even the most recently published data is inevitably out of date;
- while the failure rate models given may indicate that a low failure rate can be achieved through a reduction in a single stress, in practice other stresses may predominate and render single stress reductions alone ineffective in achieving high reliability;
- the methods provide only broad estimates of reliability;
- the assumption of constant failure rate during the useful life period of an item is not always valid but such an assumption provides suitable values for comparative analysis.

B.3 Component considerations

B.3.1 Component model

In this standard a component is considered to consist of the actual component itself (e.g. silicon die), the encapsulation (e.g. case) and connection points. How the connection points are attached to the circuit board, also called the attachment system, e.g. solder joint, are

treated separately and have their own clause and this means that failures in the attachment system should be treated as component failures when using this standard.

It is assumed that any failure rate used under reference conditions is specific to the component, i.e. it includes the effect of component complexity, technology of the casing, dependence on manufacturers and the manufacturing process, etc.

Care should be taken when using failure rate data from some data sources since some sources include the attachment system in the component failure rates and some do not.

B.3.2 Components classification

Component identification is the most important element of any codification system because it establishes a unique identification for every component. The identification consists of the minimum data required to establish clearly the essential characteristics of the component, i.e. those characteristics that give it a unique character and differentiate it from all others. A number of component classification systems are briefly described in Annex E.

This standard recommends the use of the IEC 61360 series which provides a clear and unambiguous definition of characteristic properties of all elements of electrotechnical equipment from basic components to subassemblies and full equipment. This standard only uses the component-related aspects of IEC 61360. The component coding elements of IEC 61360 are described in Annex E.

B.4 General consideration about failure rate

B.4.1 General

The failure rate of an electric component depends on many influences, such as operating phase, failure criterion, duration of stress, operating mode (continuous or intermittent), ambient temperature and temperature cycling rate, humidity, electrical stress, cyclical switching rate, mechanical stress, air pressure and special stresses. It should be noted that a failure rate value, without knowledge of the conditions under which it was observed or is to be expected, provides no real information. For this reason, the values of the relevant factors of influence should always be given when stating a failure rate. It is possible to state how the failure rate depends on some of these influences. This dependence applies only within the specified limit values of the components.

Estimated values of the failure rates can be derived either from life tests or from field data. These estimated failure rates only apply under the conditions that applied during the tests or field observation. The rules according to which such estimates are derived depend on the statistical distribution function applying, i.e. whether "constant failure rate period" (exponential distribution) or "early and wear-out failure period" (for example, Weibull distribution) exist. If the distribution over time of the failures is known, and estimated values of the failure rate have been calculated, the result should be interpreted statistically.

The dimensions of failure rates is failures per unit time (FIT) but it is worth noting that the time measure can be replaced by cycles, number of operations, etc. depending on the component type. Generally component failure rates are given in one of two standard forms, either as failures per 10^6 h or in failures per 10^9 h. In the latter case the acronym FIT is often used.

B.4.2 General behaviour of the failure rate of components

The general behaviour of the failure rate can be modelled by the Weibull distribution (see Clause 8 of IEC 61649:2008). Its shape parameter, β , models three periods in the lifecycle, which can be simply explained as follows:

- a) Early failure period ($\beta < 1$)

For some components, at the start of the operating period, a higher failure rate is sometimes observed which decreases with time. Early failures occur due to manufacturing processes and material weaknesses that do not result in failures in tests performed before shipping.

There are a few components that will exhibit decreasing failure rate in use. This is usually due to problems in the component manufacturing process as well as to handling problems (ESD, mechanical damages, etc.). This standard does not support prediction of these component types and if early failures are still to be expected for a component, the beginning of the phase of constant failure rate should be specified.

This standard assumes constant failure rates hence it is assumed that any early failures are removed by process control or by screening (see IEC 61163-2).

b) Constant failure rate period ($\beta = 1$)

Here, as the term suggests, the failure rate is constant. In some case this occurs because competing failure rate produce a averaging effect that make it appear as if the failure rate is constant when the underlying failure rates of the individual competing failure modes is not.

Generally electric components operate in the constant failure rate phase (from end of early-failure period to start of wear-out failure period) and are dealt with in this standard. This behaviour can be most easily modelled by the exponential distribution and procedures for verification of constant failure rate can be found in IEC 60605-6.

c) Wear-out failure period ($\beta > 1$)

This period shows an increasing rate of failures due to the dominating effects of wear-out, ageing or fatigue.

In some cases a component operates solely in the wear-out phase due to its physical or chemical nature. This group include chemically-based components, components where use is made of a physical degradation mechanism and nearly all components where there is a mechanical interaction. These component types will always be in the wear-out phase and so the failure rate will always be increasing. This can often be confirmed by Weibull analysis of failure data (see IEC 61649 for details).

This standard assumes that for these components the failure rate is averaged for the time interval specified in the data sheet. Since this standard only covers the useful life of the component, it is important to know when the useful life ends for a given component due to wear-out. Some suppliers define this point as where a certain percentage of failures have occurred (e.g. 10 %). Others define the end-of-life as being when the failure rate has increased by a certain factor (e.g. failure rate doubled).

The time points which separate these operating periods cannot be determined exactly. In general terms, the time dependence curve for any single component type could be significantly different. When interpreting reliability figures it is important to determine the physical reality of failure modes and distributions.

For more details on these different phases, refer to IEC 61649 and IEC 62308.

B.4.3 Expected values of failure rate

It is recommended to state failure rate data for components under environmental and operating conditions close to the conditions in field use. This results in the most relevant predictions. Therefore data from previous products and from field data from the company doing the analysis is preferred.

Values determined from a life test with a single sample – or the confidence limits derived from it – often do not provide enough information. Therefore the resulting dispersions of the predicted values for modules and equipment may be too great.

Failure rate data, stated according to this standard, should therefore be taken as statistical "expected values" for operation under the given reference conditions for the time period given and the total population, i.e. it is to be expected that in future use, under the conditions given, the averages obtained will be the values cited.

B.4.4 Sources of variation in failure rates

A failure rate generated from collecting data on equipment will be dependent upon all the circumstances under which the equipment operates. Consequently, the failure rate data should only be used for predictions on equipment in which the circumstances are similar. If the circumstances are different then the predicted failure rate will need to be adjusted.

Unfortunately, the circumstances of a data collection are rarely adequately described; and therefore, any data will be based on some explicit assumptions, some implicit assumptions, and some assumptions that are not addressed.

It is important to appreciate that a failure rate is not an intrinsic and immutable property of a piece of equipment, an engineer involved either in collecting or using data should fully understand the factors that influence failure rate derivation and use.

Circumstances that can create variations in failure rates include:

- **Component detail**

When collecting data, it is possible that information that is important to the differentiation of failure rate is lost. This is often the case when a taxonomy or categorization is used to group component types.

- **Suitability for service**

Suitability for service is related to the quality of a component. When making a prediction the analyst shall, wherever possible, try to assess the validity of the assumptions made for the particular situation and establish if the equipment represented by the data was properly fabricated, used appropriate materials of construction, was properly maintained, was operated within design conditions and was designed to appropriate standards.

- **Failure mode combinations**

Great care therefore should be taken when using failure data to ensure that the definition of failure modes used to gather the failure data is the same as the definition of failure modes that are being predicted and is not a mix of different failure mode definitions. This is of particular importance when handbook data or failure data provided by an external source is used. If the types of failure mode definition cannot be identified, then the outcome of any prediction may not match the actual observed behaviour. See 4.1 and Annex A for more details on failure modes.

- **Maintenance**

The maintenance strategy for equipment will significantly affect both the number and severity of failures. An inadequate preventive maintenance program will not prevent failures, a cursory routine inspection program may detect some potential failures, and a full preventive maintenance program may pick up potential failures as incipient failures rather than delaying until they occur.

Annex C **(informative)**

Considerations for the design of a data base on failure rates

C.1 General

For the successful implementation and maintenance of a failure rate database, an organizational framework is needed which assures that dependability data are collected and converted to information suitable for the database. Regular updating and also removal of outdated information are both equally important.

The basic idea behind the information given in the following clauses is that there is a collection of dependability data, which is converted to input for the database, from where it can be retrieved by people or organizations in order to make failure rate calculations on the next higher level of aggregation.

C.2 Data collection acquisition – Collection process

Guidance on data collection is given in IEC 60300-3-2.

C.3 Which data to collect and how to collect it

The use of failure data drives the way it should be collected. The final use should hence be clearly defined before setting up the data collection equipment because once it is developed, it is very difficult and costly to make changes because some information is missing, which is vital for the end-user.

The prediction models are not intended to describe the physical behaviour of the components or explain their failure mechanisms, but to represent the best estimate based on observed data. They seek to represent what happens to equipment in real field conditions in the steady-state part of the life cycle.

When the final purpose for using failure models is to provide design objectives, data coming from the field should be suitably filtered in order to eliminate from the observed population those items that have not yet reached reliability maturity, i.e. items affected by equipment failures, design errors, or infant mortality.

When analysing field data that has come from testing and repair in repair centres, a specific topic to be carefully considered is diagnostics coverage. In fact, more than one component (or even a large number) may be removed during repair, and the percentage “No Fault Found” (NFF) may be above the generally accepted limit of around 20 %, which is considered to be the minimum that is normally achievable.

On the other hand, if the result is aimed at spare parts dimensioning (logistics), either at component or equipment level, other situations should be considered when deciding what data to collect:

- NFF;
- imperfect diagnostics;
- incorrect use of components, that lead to systematic failures;
- maintenance not correctly performed and human errors;
- external factors (electrical and environmental);

- the learning curve of manufacturing processes;
- the case where multiple components are removed to carry out a repair;
- the case when a component failure causes the failure of other components.

C.4 Calculation and decision making

Failure rates in the database are derived from all or some of the reported information. Ideally they are determined from the field while also taking test results from external sources into account and then adapting these to the reference conditions.

For data obtained from the field, all failures should be included that can be reproduced during the testing of the replaced equipment (e.g. subassemblies). The individual reasons for failures are not important here (e.g. manufacturing fault of a component, stress, external effects within the range of the specified values). Experience shows that in some of the rejected equipment no failures can be found. These pieces of equipment should be not considered for the determination of the failure rate. It can be necessary for users to take these NFF parts into account separately when planning spare-parts logistics.

While confidence limits are of value for interval estimates of the data determined from tests, they are not reasonable for expected values.

C.5 Failure rate database attributes

Table C.1 describes some of the attributes of a database suitable for reliability prediction.

Table C.1 – Reliability prediction database attributes

Categories of information	Detailed information	Purpose
Component identification	Manufacturer, Part number, Link to data sheet	To filter for component, product line and manufacturer
Component categorization	Component main category Technology Complexity Mechanical size Housing Thermal considerations Compliance issues – standards – certificates. Manufacturing specific information like hazardous substance issues, packaging, lot sizes, tests performed during manufacturing, etc.	To filter for similar items To filter for parts which fulfil certain regulative requirements. To allow for checking against manufacturing issues, which could be rejection criteria
Usage categorization	Function/purpose Environmental conditions	To filter for specific types of application of the part, which cause a certain set of electrical stress
(Reference) failure rate		To state the failure rate applicable to the reference conditions given
(Reference) conditions		To state the conditions applicable to the reference failure rate given
Stress model	π -factors applicable and their mathematical combination	To determine how to convert failure rates from reference conditions to application operating conditions

Categories of information	Detailed information	Purpose
Information related to elements of the stress model	Parameters, formulae or tables necessary to determine the value of the relevant π -factor.	To determine the values for the π -factors
Data considered for calculation of the failure rate or reference to the detailed calculation	Reference to detailed calculation. Component hours	To retrieve the full story. To estimate the relevance and credibility of the data
Confidence interval (if any)	Data like upper, lower limit, probabilities, etc.	To estimate the accuracy of the failure rate given
Further information concerning the data forming the basis for the failure rate	Age of data component hours failures confidence limit and related data	
Originator information	Originator of the calculation date of issue date of storage in database	To ensure traceability

Two concrete examples for using IEC 61709 as a basis for the development of a reliable failure rate database are the company handbooks IRPH:2003 and SN 29500 (see data source 8 and 9 in Table D.5).

Annex D (informative)

Potential sources of failure rate data and methods of selection

D.1 General

When performing reliability prediction, it is advisable to use current reliable sources of field data whenever they are available and applicable as long as they are valid for the equipment.

D.2 Data source selection

Data should be obtained from the following sources in the given order of preference:

- user data;
- manufacturer data;
- handbook data.

If user data is available for the prediction then it should be used. If no user data is available then the manufacturer's data should be examined and, if judged suitable, used. If no manufacturer's data is available then handbook data or other data should be examined and, if judged suitable, used.

If a data source cannot be found, a risk assessment should be performed to determine the necessity for obtaining further data, e.g. by a reliability test programme, whether to use expert judgement or whether to accept the fact that data is not available for the particular component under consideration. Risk assessment techniques are described, for example, in IEC 60300-3-9.

In all cases however, in order to ensure that any work performed is technically correct, it is necessary to present justification for the choices made while the work is performed. It is normally necessary to justify the use of reliability prediction as a valid reliability technique before justifying the actual method and data sources used. In order to justify the use of the technique, in this case reliability prediction, there are a number of considerations that need to be made:

- if reliability prediction is the only way to perform the task or generate information then the justification should say why this is the only way;
- if reliability prediction is not the only way, yet it is the best way, then the justification should say why this is the best way;
- if reliability prediction is not the only way nor the best way then the justification should specify why it is being used.

Once reliability prediction is justified then the actual prediction methodology (parts count or parts stress or some hybrid) should be justified. This is carried out in the same manner as the justification for prediction:

- if method "X" is the only way to perform the prediction then the justification should say why this is the only way;
- if method "X" is not the only way to perform the prediction, yet it is the best way, then the justification should say why this is the best way;

- if method “X” is not the only way nor the best way then the justification should specify why it is being used.

Once the methodology is justified, the data sources used as input data should be justified. This is done in the same manner as above.

The justification should be recorded so that the decisions made during the process can be defended at some later date. The justification information can be used along with the results of a prediction as part of any reliability case (as defined, for example, by DEF00-42-3).

D.3 User data

User data is that which has been produced by the company performing the prediction for the sole purpose of deriving reliability information about components that can be obtained in no other way. Data can be, for instance, from in house testing, user experience, lessons learned, or expert judgement.

If user data is available, check whether data is collected and presented in accordance with applicable standards and a detailed review of data collection and analysis processes should be made. IEC 60300-3-2 and IEC 60300-3-5 are available guides to these processes.

For field data the following should be reviewed: data collection procedures, relevance of failures, and analysis techniques. Data required to quantify the prediction model is obtained from sources such as company warranty records, customer maintenance records, component suppliers, or expert elicitation from design or field service engineers. If field failure rate data has been collected then the conditions (environmental and functional stresses) for which the values are valid should also be stated.

For test data, the following should be reviewed: tests and tests conditions applied to the components, lot sampling, number of lots, manufacturing, testing period, and failure analysis. When using failure rates that have been determined under laboratory test conditions a distinction should be made in the way in which failure rates are obtained, since in most cases, the failure criteria applicable to the test are not directly transferable to field applications and it is therefore advisable to use field data wherever it is available and applicable.

The failure rates stated should be understood as expected values for the stated time interval and the entirety of lots, and they should be operated under the stated conditions; i.e. it is to be expected that in future use under the given conditions the stated values will, on average, be obtained. Confidence limits for expected values of components are not reasonable because they only apply for estimated failure rates based on life tests.

D.4 Manufacturer's data

Manufacturer's data is that which is supplied by the manufacturer based on tests of a particular component.

If manufacturer's data is available, check whether data is collected and presented in accordance with applicable standards and a detailed review of data collection and analysis processes should be made. IEC 60300-3-2 and IEC 60300-3-5 are available guides to these processes.

For manufacturers data the following should be reviewed: tests and tests conditions applied to the components, lot sampling, number of lots, manufacturing and testing period, and failure analysis.

If a manufacturer's stated values originate from accelerated tests with high stresses and have been converted to normal levels of stress for a long period through undifferentiated use of

conversion factors, they may deviate from the values observed in operation. Due to the different procedures used to determine failure rates by the manufacturer (e.g. worst case tolerance) and by the user (e.g. function maintained despite parameter changes, fault propagation law), more favourable values may be obtained.

D.5 Handbook reliability data

Failure rate data of components are published in several well-known reliability handbooks. Usually the data published is component data obtained from equipment in specific applications, e.g. telephone exchanges. In some cases the source of the data is unspecified and may not be obtained from field data. Due to this reason, failure rate predictions often differ significantly from field observations and can often lead to misleading conclusions.

Table D.1 provides information to the user concerning data sources for component failure rate determination. This list is not comprehensive, and is not intended to give a preference for sources. It remains up to the user to determine which data source is relevant for the application. Note that there are a number of handbooks and standards that describe reliability prediction, but only those that contain data are listed here.

Table D.1 – Sources of reliability data (in alphabetical order)

Data source	Short description	Location information
1. AT&T reliability manual	The AT&T reliability manual outlines prediction models and contains component failure data. The main prediction models include a decreasing hazard rate model for early life failures, which is modelled using Weibull data, and a steady-state hazard rate model using constant failure rate data. In this respect the handbook is unique	Available from most good book stores: Klinger, David J., Yoshinao Nakada, and Maria A. Menendez, Editors, AT&T Reliability Manual, Van Nostrand Reinhold, 1990, ISBN:0442318480
2. Data collection for non electric reliability handbook, Volume 3, section 1, failure rate data (continued)	The computer printout of non-electronic data is presented in three sections: Section I - Failure rate data, Section II - Stress level data/part number, and Section III - Failure mode distributions	Available from National Technical information services. http://www.ntis.gov/search/product.a.spx?ABBR=AD841108
3. Prediction of component failure rates for PSA on nuclear power plants 1982-1997	This document describes the revised component failure rate calculated by re-prediction on 49 Japanese light water reactors from 1982 to 1997	Available as a paper "Prediction of component failure rates for PSA on nuclear power plants 1982-1997". Author; KIRIMOTO YOSHIHIRO (Cent. Res. Inst. of Electr. Power Ind., Nucl. Inf. Center) MATSUZAKI AKIHIRO (Cent. Res. Inst. of Electr. Power Ind., Nucl. Inf. Center) SASAKI ATSUSHI (Cent. Res. Inst. of Electr. Power Ind., Nucl. Inf. Center) Journal title; Denryoku Chuo Kenkyujo Genshiryoku Joho Senta Hokoku, Journal Code: L2958A, VOL.;NO.P00001;PAGE.104P(2001)
4. FIDES	FIDES is a new reliability data handbook (since January 2004) developed by a consortium of French industry under the supervision of the French DoD (DGA) . The FIDES methodology is based on physics of failures and is supported by the analysis of test data, field returns and existing modelling	Available on request at fides@innovation.net

Data source	Short description	Location information
5. Guidelines for Process Equipment Reliability Data - With Data Tables	This guideline was written to provide process safety practitioners, and their managers with the information required to estimate statistical failure rates for pumps, valves, heat exchangers, instruments and other chemical process equipment. The failure rates are essential for making a chemical process risk analysis to predict the risk of various process and facility scenarios	Available from: Center for Chemical Process Safety/AIChE ISBN: 978-0-8169-0422-8 Electronic ISBN: 978-1-59124-568-1
6. HRD5: British Telecom Handbook of Reliability Data	HRD5 is a reliability standard developed by British Telecommunications plc that also provides models for a wide range of components. In general, HRD5 is similar to CNET 93, but provides simpler models and requires fewer data parameters for analysis	The HRD5 method is available in a number of commercially available reliability software packages but the original handbook is no longer on sale
7. IEEE Gold book	The IEEE Gold book IEEE recommended practice for the design of reliable, industrial and commercial power equipment provides data concerning equipment reliability used in industrial and commercial power distribution equipment	Available from: IEEE Customer Service 445 Hoes Lane PO Box 1331 Piscataway, NJ 08855-1331, USA courrier électronique customer.service@ieee.org
8. IRPH:2003, Italtel Reliability Prediction Handbook	The Italtel prediction handbook was first published in 1993 as the result of collaboration among many European organizations and companies, in particular a study group involving British Telecom, Italtel and CNET. The result of these studies lead to the publication of three virtually identical Handbooks, by CNET (RDF 93), Italtel (IRPH 93) and British Telecom (HRD 5). IRPH 2003 adopts the failure rate models of IEC 61709 (1996), with some simplifications to make them easier to use. Reference failure rates are mainly derived from field data and based on a collaboration with Siemens	Available on request from: quality@italtel.it
9. MIL217Plus	Reliability Information Analysis Center (RIAC) replacement prediction methodology for MIL-HDBK-217, it supersedes PRISM	Available at: http://www.theriac.org/productsandservices/products/217plus/index.swn (checked 17/11/2008)
10. MIL-HDBK-217 MIL-HDBK-217F Reliability Prediction of Electronic Equipment	MIL-HDBK-217, Reliability Prediction of Electronic Equipment, has been the mainstay of reliability predictions for about 40 years but it has not been updated since 1995, and at the current time of writing there are no plans by the Military to update it in the future	Available from the internet in a number of places, such as http://assist.daps.dla.mil/quicksearch (checked 17/11/2008) It is also incorporated within several commercially available reliability software packages

Data source	Short description	Location information
11. NPRD-95	NPRD-95 data provides failure rates for a wide variety of items, including mechanical and electromechanical parts and assemblies. The document provides detailed failure rate data on over 25 000 parts for numerous part categories grouped by environment and quality level	Available from: Reliability Analysis Center 201 Mill Street Rome, NY 13440-6916 USA
12. NSWC-94/L07 - Handbook of reliability prediction procedures for mechanical equipment.	This handbook, developed by the Naval Surface Warfare Center – Carderock Division provides failure rate models for fundamental classes of mechanical components	Available from: http://www.stormingmedia.co.uk
13. OREDA:2002	The 4th edition of the OREDA - Handbook was released in October 2002 containing OREDA® Phase IV (1993-96) and Phase V (1997-00) data. The handbooks contain reliability data on offshore equipment compiled in a form that can easily be used for various safety, reliability and maintenance analyses	Available from: Det Norske Veritas Veritasveien 1 N-1322 Høvik NORWAY Att.: ENEN0753 http://www.dnv.com
14. PRISM (RAC / EPRD)	The RAC (EPRD) Electronic parts reliability data handbook database is the same as that previously used to support the MIL-HDBK-217, and is supported by a software tool marketed under the name of PRISM	Available from: http://src.alionscience.com/prism
15. RDF:2003	RDF:2003 is the latest version of the CNET handbook. This handbook has been adopted by UTEC and is known as UTEC80810 Reliability data handbook. This handbook covers most of the same components as MIL-HDBK-217	The standard is available at: UTE Union Technique de l'électricité et de la Communication l'Immeuble VOLTA 33, avenue du Général Leclerc BP 23 92262 Fontenay-aux-Roses Cedex, France
16. IEC/TR 62380 – Reliability data handbook — Universal model for reliability prediction of electronics components, PCBs and equipment	This technical report provides elements to calculate failure rate of mounted electronic components. It makes equipment reliability optimization studies easier to carry out, thanks to the introduction of influence factors. WARNING: Some of the procedures in IEC/TR 62380 conflict with those in this standard	Available from: IEC standards stockist
17. Reliability data for safety instrumented equipment PDS data handbook, 2006 Edition	Reliability data dossiers for field devices (sensors, valves) and control logic (electronics) are presented, including data for subsea equipment	Available from: Sydvest, Trondheim, Norway E-mail: post@sydvest.com http://www.sydvest.com
18. Reliability failure rate/mode handbook, section 3.1, integrated circuit failure rates	This document includes a set of tables giving experienced field failure rates, of integrated circuits, a prediction procedure for hybrid microcircuits and a set of graphs giving failure rates of IC's as a function of temperature obtained primarily from laboratory tests of IC's at elevated temperatures	Available from: RIAC, 6000 Flanagan Road, Suite 3, Utica NY 13502-1348 Phone: 315.351.4200 Toll free: 877.363.RIAC (7422)

Data source	Short description	Location information
19. Safety equipment reliability handbook, 2 nd edition	This publication contains information on failure rates, failure mode distributions, diagnostic detection capability, and common cause susceptibility. This handbook was created to supply that information in a format specific to safety integrity verification. The data is formatted such that it can be directly used in safety verifications and to allow for easy comparison of equipment items or designs	Available from: ISA http://www.isa.org
20. Siemens SN 29500	The Siemens SN 29500 failure rates of components and expected values method was developed by Siemens AG for use of Siemens and Siemens associates as a uniform basis for reliability prediction. SN 29500 is based on IEC 61709 and states failure rates under reference conditions as described in this standard	The standard is available on request
22. TELCORDIA SR-332	The SR-332, Reliability prediction procedure for electronic equipment, documents the recommended methods for predicting device and unit hardware reliability	Available from: Telcordia Technologies, Inc. 8 Corporate Place, PYA 3A-184 Piscataway, NJ 08854-4156 USA The Telcordia SR-332 is incorporated within several commercially available reliability software packages
22. Various software	Many pieces of reliability software contain reliability data. In many cases this is data taken from one of the above sources but in some cases the data is unique to the software	Various sources

Annex E (informative)

Overview of component classification

E.1 General

Component identification is the most important element of any codification system because it establishes a unique identification for every item of supply. The identification consists of the minimum data required to establish clearly the essential characteristics of the item, i.e. those characteristics that give it a unique character and differentiate it from all others. This annex gives a brief overview of the generic component description standards which may be encountered. Unfortunately it is not possible to give a translation table between these descriptions and the one used in this standard.

This standard recommends the use of the IEC 61360 standards to define the component type. This component tree is described in Table E.1 and will allow users of the IEC 61360 descriptions to find component models easily in this standard.

E.2 The IEC 61360 system

This standard provides a basis for the clear and unambiguous definition of characteristic properties (data element types) of all elements of electrotechnical equipment from basic components to subassemblies and full equipment. Although originally conceived in the context of providing a basis for the exchange of information on electric components, it may be used in areas outside the original conception such as assemblies of components and electrotechnical equipment and sub-equipment.

It provides for establishing a classification hierarchy and the allocation of applicable and relevant properties to each of the classes so established in order to describe fully the characteristics of objects belonging to that class and hence it facilitates the exchange of data describing electro-technical equipment through a defined structure in order for the information to be exchanged in a computer-sensible form.

The particular IEC 61360 standard that is of interest is IEC 61360-4 which provides the IEC reference collection of classes and associated characteristic properties for electric components and materials used in electro-technical equipment. Table E.1 contains the classification tree for IEC 61360-4, cross-referenced against the relevant clause in this standard. In cases where no such data exists in this standard, the clause is noted as "N/A" (not available). Where this standard contains lower level detail in terms of component types than in IEC 61360-4, then the clause will have "+" noted beside it.

In Table E.1 below, the headings L1 to L5 represent the descriptive level tags given in IEC 61360-4:2005. Each level tag adds another layer of description to the component type. Note that for completeness each of these descriptions shall have the terms "IECREF:CO:EE" for "IEC reference collection, Components, Electric-Electronic" or "IECREF:CO:EM" for "IEC reference collection, Components, Electromechanical" placed in front of it. Hence the full code for a "Fixed Air capacitor" would be "IECREF:CO:EE:CAP:FIX:AIR".

Note also that only the component categories are listed in Table E.1, the geometric data has been omitted.

Table E.1 – Classification tree (IEC 61360)

Component description	IEC 61360-4 classification tree					Clause in this standard
	L1	L2	L3	L4	L5	
ELECTRIC COMPONENTS						
Amplifier	AMP					6.1+
Amplifier, low frequency	AMP	LF				6.1
Amplifier, low frequency power	AMP	LF	PWA			6.1
Amplifier, low frequency voltage	AMP	LF	VTA			6.1
Amplifier, low frequency voltage differential	AMP	LF	VTA	DFA		6.1
Amplifier, low frequency voltage differential AC-coupled	AMP	LF	VTA	DFA	ACA	6.1
Amplifier, low frequency voltage differential DC-coupled	AMP	LF	VTA	DFA	OPA	6.1
Amplifier, low frequency voltage single sided	AMP	LF	VTA	SSA		6.1
Amplifier, radio frequency	AMP	RF				6.1
Amplifier, wide band	AMP	WB				6.1
Antenna	ANT					N/A
Antenna, capacitive (whip)	ANT	CAP				N/A
Antenna, inductive (ferroceptor)	ANY	IND				N/A
Antenna, resistive (tuned dipole)	ANY	RES				N/A
Battery	BAT					N/A
Battery, primary	BAT	PRI				N/A
Battery, secondary	BAT	SEC				N/A
Capacitor	CAP					6.4+
Capacitor, fixed	CAP	FIX				6.4
Capacitor, fixed air	CAP	FIX	AIR			6.4
Capacitor, fixed ceramic	CAP	FIX	CER			6.4
Capacitor, fixed ceramic, class 1	CAP	FIX	CER	CL1		6.4
Capacitor, fixed ceramic, class 2	CAP	FIX	CER	CL2		6.4
Capacitor, fixed, electrolytic	CAP	FIX	ELC			6.4
Capacitor, fixed electrolytic with solid tantalum electrolyte	CAP	FIX	ELC	STAN		6.4
Capacitor, fixed electrolytic with non-solid tantalum electrolyte	CAP	FIX	ELC	NTAN		6.4
Capacitor, fixed electrolytic with solid aluminium electrolyte	CAP	FIX	ELC	SAL		6.4

Component description	IEC 61360-4 classification tree					Clause in this standard
	L1	L2	L3	L4	L5	
Capacitor, fixed electrolytic with non-solid aluminium electrolyte	CAP	FIX	ELC	NAL		6.4
Capacitor, fixed, film	CAP	FIX	FLM			6.4
Capacitor, fixed, glass	CAP	FIX	GLS			6.4
Capacitor, fixed, mica	CAP	FIX	MIC			6.4
Capacitor, fixed, multilayer	CAP	FIX	MLAY			6.4
Capacitor, fixed, paper	CAP	FIX	PAP			6.4
Capacitor, variable	CAP	VAR				6.4
Conductor	CND					6.9+
Conductor, bare	CND	BAR				6.9
Conductor, insulated	CND	INS				6.9
Conductor, insulated, cable	CND	INS	CBL			6.9
Conductor, insulated, cable, power	CND	INS	CBL	POW		6.9
Conductor, insulated, cable, signal	CND	INS	CBL	SIG		6.9
Conductor, insulated, cable, signal, low frequency	CND	INS	CBL	SIG	LF	6.9
Conductor, insulated, cable signal, high frequency	CND	INS	CBL	SIG	HF	6.9
Conductor, insulated, insulated wire (single conductor)	CND	INS	IWR			6.9
Delay line	DEL					N/A
Diode device	DID					6.2+
Diode device, bridge rectifier	DID	BRI				6.2
Diode device, diode	DID	DIO				6.2
Diode device, diode, break over diode	DID	DIO	BOD			6.2
Diode device, diode, rectifier diode	DID	DIO	REC			6.2
Diode device, diode, signal diode	DID	DIO	SIG			6.2
Diode device, diode, stabilizer diode	DID	DIO	STB			6.2
Diode device, diode, stabilizer diode, current regulator	DID	DIO	STB	CUR		6.2
Diode device, diode, stabilizer diode, voltage reference	DID	DIO	STB	REF		6.2
Diode device, diode, stabilizer diode, voltage regulator	DID	DIO	STB	REG		6.2
Diode device, diode, stabilizer diode, stabistor	DID	DIO	STB	STA		6.2

Component description	IEC 61360-4 classification tree					Clause in this standard
	L1	L2	L3	L4	L5	
Diode device, diode, stabilizer diode, transient suppressor	DID	DIO	STB	SUP		6.2
Diode device, diode, variable	DID	DIO				6.2
Diode device, voltage multiplier	DID	VMP				6.2
Fibre optics	FIBOPTIC					6.3+
Fibre optics, links	FIBOPTIC	LINKS				6.3
Fibre optics, connectors	FIBOPTIC	CONN				6.3
Fibre optics, switched	FIBOPTIC	SWI				6.3
Fibre optics, branches	FIBOPTIC	BRA				6.3
Fibre optics, couplers/splitters	FIBOPTIC	COUP				6.3
Fibre optics, attenuators	FIBOPTIC	ATT				6.3
Fibre optics, detectors	FIBOPTIC	DET				6.3
Fibre optics, isolators	FIBOPTIC	ISOL				6.3
Fibre optics, networks	FIBOPTIC	NETW				6.3
Fibre optics, light sources	FIBOPTIC	SOURC				6.3
Fibre optics, modulators	FIBOPTIC	MOD				6.3
Fibre optics, transmitters/receivers	FIBOPTIC	TXRX				6.3
Fibre optics, waveguides	FIBOPTIC	WG				6.3
Fibre optics, cables	FIBOPTIC	CAB				6.3
Fibre optics, filters	FIBOPTIC	FIL				6.3
Fibre optics, lens	FIBOPTIC	LENS				6.3
Filter	FIL					6.7
IC	IC					6.1+
IC, analog/digital	IC	AD				6.1
IC, analog	IC	ANA				6.1
IC, digital	IC	DIG				6.1
IC, digital, combinational sequential interface (CSI)	IC	DIG	CSI			6.1
IC, digital, microcontroller	IC	DIG	MUC			6.1
IC, digital, microprocessor	IC	DIG	MUP			6.1
IC, digital, programmable logic device (PLD)	IC	DIG	PLD			6.1
IC, digital, storage	IC	DIG	STO			6.1
IC, digital, storage, CAM	IC	DIG	STO	CAM		6.1
IC, digital, storage, CCD	IC	DIG	STO	CCD		6.1
IC, digital, storage, RAM	IC	DIG	STO	RAM		6.1
IC, digital, storage, RAM, dynamic	IC	DIG	STO	RAM	DRAM	6.1

Component description	IEC 61360-4 classification tree					Clause in this standard
	L1	L2	L3	L4	L5	
IC, digital, storage, RAM, static	IC	DIG	STO	RAM	SRAM	6.1
IC, digital, storage, ROM	IC	DIG	STO	ROM		6.1
IC, digital, storage, register	IC	DIG	STO	REG		6.1
IC, periodic/DC	IC	PER				6.1
Inductor	IND					6.7+
Inductor, fixed	IND	FIX				6.7
Inductor, fixed, deflection units	IND	FIX	DFL			6.7
Inductor, fixed, choke	IND	FIX	CHOKE			6.7
Inductor, fixed, coil	IND	FIX	COIL			6.7
Inductor, fixed, linearity control unit	IND	FIX	LININUT			6.7
Inductor, fixed, antenna inductors	IND	FIX	ANT			6.7
Inductor, fixed, solenoids	IND	FIX	SOL			6.7
Inductor, variable	IND	VAR				6.7
Lamp	LAM					6.13
LCD	LCD					6.3
Microwave components	MIC					6.7
Optoelectronic device	OPT					6.3
Optoelectronic device, image pickup device	OPT	IMAGE				6.3
Optoelectronic device, photocoupler	OPT	PHC				6.3
Optoelectronic device, photoemitter	OPT	PHE				6.3
Optoelectronic device, photoemitter, infrared emitting diode	OPT	PHE	IRD			6.3
Optoelectronic device, photoemitter, LASER	OPT	PHE	LAS			6.3
Optoelectronic device, photoemitter, LED	OPT	PHE	LED			6.3
Optoelectronic device, photosensor	OPT	PHS				6.3
Optoelectronic device, photosensor, infrared	OPT	PHS	IR			6.3
Optoelectronic device, photosensor, ultraviolet	OPT	PHS	U			6.3
Optoelectronic device, photosensor, visible radiation	OPT	PHS	VIS			6.3
Oscillator	OSC					6.8
Piezoelectric device	PE					6.8
Printed wiring circuit	PWC					N/A
Resistor	RES					6.5
Resistor, fixed	RES	FIX				6.5

Component description	IEC 61360-4 classification tree					Clause in this standard
	L1	L2	L3	L4	L5	
Resistor, fixed, linear	RES	FIX	LIN			6.5
Resistor, fixed, linear, resistor network	RES	FIX	LIN	MUL		6.5
Resistor, fixed, linear, single	RES	FIX	LIN	SIN		6.5
Resistor, fixed, linear, single, chip	RES	FIX	LIN	SIN	CHIP	6.5
Resistor, fixed, linear, single, fusing	RES	FIX	LIN	SIN	FUS	6.5
Resistor, fixed, linear, single, low power	RES	FIX	LIN	SIN	LP	6.5
Resistor, fixed, linear, single, precision	RES	FIX	LIN	SIN	PREC	6.5
Resistor, fixed, linear, single, power	RES	FIX	LIN	SIN	PWR	6.5
Resistor, fixed, linear, single, PTC	RES	FIX	LIN	SIN	THERM	6.5
Resistor, fixed, non-linear	RES	FIX	NLN			6.5
Resistor, fixed, non-linear, light dependent	RES	FIX	NLN	LDR		6.5
Resistor, fixed, non-linear, thermistor	RES	FIX	NLN	TDR		6.5
Resistor, fixed, non-linear, thermistor, NTC	RES	FIX	NLN	TDR	NTC	6.5
Resistor, fixed, non-linear, thermistor, PTC	RES	FIX	NLN	TDR	PTC	6.5
Resistor, fixed, non-linear, varistor	RES	FIX	NLN	VDR		6.5
Resistor, variable	RES	VAR				6.5
Resistor, variable, potentiometer	RES	VAR	POT			6.5
Resistor, variable, potentiometer, preset	RES	VAR	POT	PRESET		6.5
Resistor, variable, potentiometer, rotary precision	RES	VAR	POT	PRECROT		6.5
Resistor, variable, potentiometer, slide	RES	VAR	POT	SLIDE		6.5
Resistor, variable, potentiometer, low power rotary	RES	VAR	POT	LPROT		6.5
Resistor, variable, potentiometer, power rotary	RES	VAR	POT	PWRPROT		6.5
Resistor, variable, two terminal	RES	VAR	TT			6.5
Resonator	RESON					6.8
Sensor	SEN					N/A
Sensor, relative humidity	SEN	HUM				N/A
Sensor, light	SEN	LGT				N/A
Sensor, magnetic field strength	SEN	MGN				N/A

Component description	IEC 61360-4 classification tree					Clause in this standard
	L1	L2	L3	L4	L5	
Sensor, nuclear	SEN	NCL				N/A
Sensor, pressure	SEN	PRS				N/A
Sensor, proximity	SEN	PRX				N/A
Sensor, temperature	SEN	TMP				N/A
Spark gaps	SPARK					N/A
Spark gaps, air	SPARK	AIR				N/A
Spark gaps, gas filled	SPARK	GAS				N/A
Transformers	TFM					6.7
Transformers, power	TFM	POW				6.7
Transformers, power, fixed	TFM	POW	FIX			6.7
Transformers, power, variable	TFM	POW	VAR			6.7
Transformers, signal	TFM	SIG				6.7
Transformers, signal, fixed	TFM	SIG	FIX			6.7
Transformers, signal, variable	TFM	SIG	VAR			6.7
Transistors	TRA					6.2
Transistors, bipolar	TRA	BIP				6.2
Transistors, bipolar, power	TRA	BIP	POW			6.2
Transistors, bipolar, power, low frequency	TRA	BIP	POW	LF		6.2
Transistors, bipolar, power, high frequency	TRA	BIP	POW	HF		6.2
Transistors, bipolar, signal	TRA	BIP	SIG			6.2
Transistors, bipolar, signal, low frequency	TRA	BIP	SIG	LF		6.2
Transistors, bipolar, signal, high frequency	TRA	BIP	SIG	HF		6.2
Transistors, FET	TRA	FET				6.2
Transistors, FET, power	TRA	FET	POW			6.2
Transistors, FET, power, low frequency	TRA	FET	POW	LF		6.2
Transistors, FET, power, high frequency	TRA	FET	POW	HF		6.2
Transistors, FET, small signal	TRA	FET	SIG			6.2
Trigger device	TRG					6.2
Trigger device, DIAC	TRG	DIA				6.2
Trigger device, thyristor	TRG	THY				6.2
Trigger device, thyristor, fast turn off	TRG	THY	FTO			6.2
Trigger device, thyristor, gate turn off	TRG	THY	GTO			6.2
Trigger device, thyristor, reverse blocking	TRG	THY	RVB			6.2
Trigger device, TRIAC	TRG	TRI				6.2

Component description	IEC 61360-4 classification tree					Clause in this standard
	L1	L2	L3	L4	L5	
Tubes	TUB					N/A
Tubes, CRT	TUB	CRT				N/A
Tubes, CRT, colour display	TUB	CRT	COL			N/A
Tubes, CRT, monochrome display	TUB	CRT	MCR			N/A
Tubes, gas filled	TUB	GAS				N/A
Tubes, photo sensitive	TUB	PHO				N/A
Tubes, space charge controlled	TUB	SCC				N/A
Tubes, space charge wave	TUB	SCW				N/A
Tuner	TUN					N/A
ELECTROMECHANICAL COMPONENTS						
Connector	CON					6.1
Connector, circular	CON	CIRC				6.1
Connector, IC	CON	IC				6.1
Connector, plug and jack	CON	JACK				6.1
Connector, plug and jack, plug assembly	CON	JACK	ASSY			6.1
Connector, plug and jack, complex jack boards	CON	JACK	CMPLX			6.1
Connector, plug and jack, concentric type	CON	JACK	CONC			6.1
Connector, plug and jack, concentric type, jack	CON	JACK	CONC	JACK		6.1
Connector, plug and jack, concentric type, multiple	CON	JACK	CONC	MULT		6.1
Connector, plug and jack, concentric type, plug	CON	JACK	CONC	PLUG		6.1
Connector, plug and jack, pin type	CON	JACK	PIN			6.1
Connector, plug and jack, pin type, jack	CON	JACK	PIN	JACK		6.1
Connector, plug and jack, pin type, multiple jack	CON	JACK	PIN	MULT		6.1
Connector, plug and jack, pin type, plug	CON	JACK	PIN	PLUG		6.1
Connector, plug and jack, pin type, shielded jack	CON	JACK	PIN	SHLD		6.1
Connector, plug and jack, D.C. power type	CON	JACK	PWR			6.1
Connector, plug and jack, D.C. power type, car	CON	JACK	PWR	CAR		6.1

Component description	IEC 61360-4 classification tree					Clause in this standard
	L1	L2	L3	L4	L5	
Connector, plug and jack, D.C. power type, jack	CON	JACK	PWR	JACK		6.1
Connector, plug and jack, D.C. power type, plug	CON	JACK	PWR	PLUG		6.1
Connector, modular	CON	MOD				6.1
Connector, printed circuit board	CON	PCB				6.1
Connector, rectangular	CON	RECT				6.1
Connector, radio frequency	CON	RF				6.1
Connector, sockets	CON	SOCK				6.1
Connector, sockets, antenna feeder	CON	SOCK	ANT			6.1
Connector, sockets, fuse holder	CON	SOCK	FUSE			6.1
Connector, sockets, IC	CON	SOCK	IC			6.1
Connector, sockets, light	CON	SOCK	LIGHT			6.1
Connector, sockets, PCB	CON	SOCK	PCB			6.1
Connector, sockets, power socket	CON	SOCK	PWR			6.1
Connector, sockets, signal socket	CON	SOCK	SIG			6.1
Connector, sockets, transistor	CON	SOCK	TRA			6.1
Connector, sockets, tube	CON	SOCK	TUBE			6.1
Connector, sockets, quartz crystal	CON	SOCK	XTAL			6.1
Connector, terminals	CON	TERM				6.1
Connector, terminals, array	CON	TERM	ARRY			6.1
Connector, terminals, board	CON	TERM	BRD			6.1
Connector, terminals, rod	CON	TERM	ROD			6.1
Connector, terminals, small	CON	TERM	SM			6.1
Connector part	CONPART					6.1
Connector part, contact	CONPART	CONTACT				6.1
Connector part, accessories	CONPART	ACCY				6.1
Connector part, tool	CONPART	TOOL				6.1
Connector part, shell	CONPART	SHELL				6.1
Connector part, insert	CONPART	INSERT				6.1
Fuse	FUS					6.8
Fuse, current activated	FUS	CUR				6.8
Fuse, thermally activated	FUS	TERM				6.8

Component description	IEC 61360-4 classification tree					Clause in this standard
	L1	L2	L3	L4	L5	
Loudspeaker	LSP					N/A
Loudspeaker, electromagnetic	LSP	ELM				N/A
Loudspeaker, electrostatic	LSP	ELS				N/A
Loudspeaker, ionic	LSP	ION				N/A
Loudspeaker, magnetodynamic	LSP	MGD				N/A
Loudspeaker, magnetostrictive	LSP	MGs				N/A
Loudspeaker, moving conductor	LSP	MVC				N/A
Loudspeaker, piezoelectric	LSP	PXE				N/A
Loudspeaker, pneumatic	LSP	PNM				N/A
Microphone	MIC					N/A
Motor	MOT					N/A
Motor, linear	MOT	LIN				N/A
Motor, linear, AC	MOT	LIN	AC			N/A
Motor, linear, DC	MOT	LIN	DC			N/A
Motor, linear, step	MOT	LIN	STP			N/A
Motor, linear, universal	MOT	LIN	UNI			N/A
Motor, rotational	MOT	ROT				N/A
Motor, rotational, AC	MOT	ROT	AC			N/A
Motor, rotational, DC	MOT	ROT	DC			N/A
Motor, rotational, step	MOT	ROT	STP			N/A
Motor, rotational, universal	MOT	ROT	UNI			N/A
Relay	REL					6.11
Switch	SWI					6.12
Switch, mechanical	SWI	MEC				6.12
Switch, reed	SWI	REE				6.12
Switch, thermostatic	SWI	THE				6.12
MAGNETIC PARTS						
Hard magnetic part	HRD					N/A
Soft magnetic part	SFT					N/A

E.3 Other systems

E.3.1 NATO stock numbers

The NATO Codification System (NCS) has been in place since the mid-1950s. It provides standards for the use of common stock identification equipment throughout the NATO alliance. The NCS identification process is based on the "Item of Supply" concept, a term which refers to an item required for acquisition in order to satisfy a logistics need. It can consist of one or many "items of production" (i.e., a product of a specific manufacturer) having equivalent "fundamental characteristics". The NCS provides NATO countries with uniform and

common equipment for the identification, classification, and stock numbering of items of supply.

E.3.2 UNSPSC codes

The United Nations Standard Products and Services Code® (UNSPSC®) provides an open, global multi-sector standard for efficient, accurate classification of products and services. This code is used to classify all products and services. It was jointly developed by the United Nations Development Programme (UNDP) and Dun & Bradstreet Corporation (D & B) in 1998.

E.3.3 STEP/EXPRESS

STEP (Standard for the Exchange of Product data) is the colloquial term for ISO 10303-31. STEP is developed by ISO TC184/SC4 and is targeted at the exchange of data describing a product between Computer Aided Engineering equipment (e.g. CAD, CAM, etc.), and also long-term retention of such data.

EXPRESS is the language used within STEP to formally define the semantics of the data. It is a lexical object information modelling language and is defined in ISO 10303-11:2004. EXPRESS is used in many other activities outside STEP.

E.3.4 IECQ

IECQ is a body that awards qualification of various different types to the manufacturers of components. In order to do this it specifies the standards (called blank detail specifications) that a component shall meet. Each of these standards has a number and components of that particular quality are often called by the number of the relevant standard, for instance discrete semiconductor devices are coded under the QC 700000 generic specification.

E.3.5 ECALS

The computer readable standard dictionary of semiconductor devices and general electronic components (usually referred to as the "ECALS Dictionary") was developed by the Standardization Project of the ECALS Steering Committee of the Japan Electronic and Information Technology Industries Association (JEITA). It is based on the standard developed in the ECALS-2 Project on development of a global supply chain foundation for semiconductors and electronic components, one of the Advanced Information Development Experimental Tasks of the Ministry of International Trade and Industry (MITI) of Japan through the Information-Technology Promotion Agency of Japan. For harmonization with international standards, the ECALS Dictionary has been developed pursuant and with reference to the IEC 61360 and ISO 13584 series to the greatest possible extent.

E.3.6 ISO 13584

ISO 13584 is not a standard that defines electric components per se, it comprises however a series of International Standards for the computer-sensible representation and exchange of part library data. The objective is to provide a mechanism capable of transferring parts library data, independent of any application which uses a parts library data base. The nature of this description makes it suitable not only for the exchange of files containing parts, but also as a basis for implementing and sharing databases of parts library data.

E.3.7 MIL specifications

A United States defence standard, often called a military standard, "MIL-STD", or "MIL-SPEC", is used to help achieve standardization objectives by the U.S. Department of Defence. According to the Government Accountability Office (GAO), military specifications "describe the physical and/or operational characteristics of a product", while military standards detail the processes and materials to be used to make the product. The GAO acknowledges, however, that the terms are often used interchangeably.

The MIL-SPEC documents define various component types, for instance MIL-C-18312 describes fixed capacitors with a metallized paper-plastic, or plastic film dielectric, for use in direct current application and packaged in a hermetically sealed metal case. In many organizations the component types become known by the MIL specification number (in this case, 18312).

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61709:2011

Annex F (informative)

Examples

F.1 Integrated circuit

For a bipolar random access memory device, the stated reference failure rate is $\lambda_{\text{ref}} = 10^{-7} \text{ h}^{-1}$ at the virtual (equivalent) junction temperature of $\theta_{\text{ref}} = 75^\circ\text{C}$ (based on the component ambient temperature of 40°C and the reference self-heating of ΔT_{ref} of 35°C).

What is the value of the failure rate at an ambient temperature of $\theta_{\text{amb}} = 65^\circ\text{C}$ and the self-heating of 35°C ?

Step (1): $\lambda = \lambda_{\text{ref}} \times \pi_T$ for ICs from, Equation (10).

Step (2): $\pi_T = 2,9$ follows from Table 14
with the virtual junction temperature under reference conditions
 $\theta_{\text{ref}} = 75^\circ\text{C}$ ($= 40^\circ\text{C} + 35^\circ\text{C}$),
and the actual virtual junction temperature
 $\theta_{\text{op}} = \theta_{\text{amb}} + \Delta T_{\text{ref}} = 65^\circ\text{C} + 35^\circ\text{C} = 100^\circ\text{C}$.

Step (3): Perform the calculation; the failure rate at $\theta_{\text{amb}} = 65^\circ\text{C}$ is obtained as:

$$\lambda = \lambda_{\text{ref}} \times \pi_T = 10^{-7} \text{ h}^{-1} \times 2,9 = 2,9 \times 10^{-7} \text{ h}^{-1} = 290 \text{ FIT}.$$

F.2 Transistor

For a general-purpose transistor, the stated failure rate at the reference junction temperature $\theta_{\text{ref}} = 55^\circ\text{C}$ and the reference voltage ratio $U_{\text{ref}}/U_{\text{rat}} = 0,5$ is given as $\lambda_{\text{ref}} = 2 \times 10^{-8} \text{ h}^{-1}$.

The operating voltage ratio, $U_{\text{op}}/U_{\text{rat}} = 0,8$.

What is the failure rate value at a junction temperature of $\theta_{\text{op}} = 90^\circ\text{C}$?

Step (1): $\lambda = \lambda_{\text{ref}} \times \pi_U \times \pi_T$ for transistors from Equation (13).

Step (2): $\pi_U = 1,26$ follows from Table 21 for $U_{\text{op}}/U_{\text{rat}} = 0,8$.

Step (3): $\pi_T \approx 4,2$ follows from Table 23

with the reference junction temperature $\theta_{\text{ref}} = 55^\circ\text{C}$ and the actual junction temperature $\theta_{\text{op}} = 90^\circ\text{C}$.

Step (4): Perform the calculation:
thus the failure rate at $\theta_{\text{op}} = 90^\circ\text{C}$ and $U_{\text{op}}/U_{\text{rat}} = 0,8$ is obtained as:

$$\lambda = \lambda_{\text{ref}} \times \pi_U \times \pi_T = 2 \times 10^{-8} \text{ h}^{-1} \times 1,26 \times 4,2 \approx 1,06 \times 10^{-7} \text{ h}^{-1} = 1,058 \times 10^{-7} \text{ h}^{-1} \approx 106 \text{ FIT}.$$

F.3 Capacitor

For a polypropylene film metal foil capacitor, the stated failure rate at the ambient temperature θ_{amb} of 50 °C and the reference voltage ratio of $U_{ref}/U_{rat} = 0,5$ is given as $\lambda = 3,5 \times 10^{-9} h^{-1}$.

What is the value of the failure rate at an ambient temperature of $\theta_{amb} = 60^\circ C$ and an operating voltage ratio of $U_{op}/U_{rat} = 0,6$?

Step (1): $\lambda = \lambda_{ref} \times \pi_U \times \pi_T$ for capacitors from Equation (23).

Step (2): Conversion to reference condition:

$\pi_U = 1$ follows from, Table 38 for $U_{ref}/U_{rat} = 0,5$;

$\pi_T = 1,8$ follows from Table 40 for $\theta_{amb} = \theta_{op} = 50^\circ C$.

Perform the calculation, thus the failure rate at reference conditions of $\theta_{ref} = 40^\circ C$ and $U_{ref}/U_{rat} = 0,5$ (see Table 36) is obtained as:

$$\lambda_{ref} = \lambda / (\pi_U \times \pi_T) = 3,5 \times 10^{-9} h^{-1} / (1 \times 1,8) = 1,94 \times 10^{-9} h^{-1} = 1,94 \text{ FIT}$$

Step (3): Conversion from reference to operating conditions:

$\pi_U = 1,5$ follows from Table 38 for $U_{op}/U_{rat} = 0,6$

$\pi_T = 3,1$ follows from Table 40 for $\theta_{op} = 60^\circ C$.

Perform the calculation, thus the failure rate at $\theta_{op} = 60^\circ C$ and $U_{op}/U_{rat} = 0,6$ is obtained as:

$$\lambda = \lambda_{ref} \times \pi_U \times \pi_T = 1,94 \times 10^{-9} h^{-1} \times 1,5 \times 3,1 \approx 9 \times 10^{-9} h^{-1} = 9 \text{ FIT}$$

F.4 Relay

A dust-tight general purpose relay with one normally open contact switches once per hour in stress region 4 (see Figure 1) with motor load with alternating current (a.c.):

$$\lambda_{ref} = 4 \times 10^{-9} h^{-1}; U = 220 \text{ V}, I = 4 \text{ A}, I_{rat} = 16 \text{ A}, \text{ ambient temperature } \theta_{amb} = 70^\circ C$$

What is the value of the failure rate under these conditions?

Step (1): $\lambda = \lambda_{ref} \times \pi_{ES} \times \pi_S \times \pi_T$ for relays from Equation (32).

Step (2): $\pi_{ES} = 20$ follows from Table 53, stress region 4, inductive load.

Step (3): $\pi_S = 1$ follows from Equation (7), one cycle per hour

Step (4): $\pi_T = 1,8$ follows from Table 56 with $\theta_{amb} = 70^\circ C$

Step (5): Perform the calculation, thus the failure rate, at the stated conditions is obtained as:

$$\lambda = \lambda_{ref} \times \pi_{ES} \times \pi_S \times \pi_T = 4 \times 10^{-9} h^{-1} \times 20 \times 1 \times 1,8 = 1,44 \times 10^{-7} h^{-1} = 144 \text{ FIT}$$

Bibliography

IEC 60050-151:2001, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 151: Electrical and magnetic devices*

IEC 60050-521:2002, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 521: Semiconductor devices and integrated circuits*

IEC 60300-3-2:2004, *Dependability management – Part 3-2: Application guide – Collection of dependability data from the field*

IEC 60300-3-5, *Dependability management – Part 3-5: Application guide – Reliability test conditions and statistical test principles*

IEC 60300-3-9, *Dependability management – Part 3: Application guide – Section 9: Risk analysis of technological systems*

IEC 60721 (all parts), *Classification of environmental conditions*

IEC 60747-1:2006, *Semiconductor devices – Part 1: General*

IEC 61163-2, *Reliability stress screening – Part 2: Electronic components*

IEC 61360 (all parts), *Standard data element types with associated classification scheme for electric components*

IEC 61360-1:2009, *Standard data elements types with associated classification scheme for electric items – Part 1: Definitions – Principles and methods*

IEC 61360-4:2005, *Standard data element types with associated classification scheme for electric components – Part 4: IEC reference collection of standard data element types and component classes*

IEC 61649:2008, *Weibull analysis*

IEC 61703, *Mathematical expressions for reliability, availability, maintainability and maintenance support terms*

IEC 62308, *Equipment reliability – Reliability assessment methods*

ISO 10303-11:1994, *Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange – Part 11: Description methods – The EXPRESS language reference manual*

ISO 10303-31, *Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange – Part 31: Conformance testing methodology and framework: General concepts*

ISO 13584 (all parts), *Industrial automation systems and integration – Parts library*

Joint Electron Device Engineering Council(s) (JEDEC), *JESD85, Methods for calculating failure rates in units of FITS*

DEF00-42-3, *Ministry of Defence Standard 0042 – Reliability and Maintainability (R&M) Assurance Guidance – Part 3: R&M Case*

MIL-C-18312, *Capacitor, Fixed, Metallized, (Paper, Paper-Plastic or Plastic Film) Dielectric, D.C. (Hermetically Sealed in Metal Cases)*

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61709:2011

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	94
INTRODUCTION	96
1 Domaine d'application	97
2 Références normatives	97
3 Termes, définitions et symboles	98
3.1 Termes et définitions	98
3.2 Symboles	100
4 Contexte et conditions	101
4.1 Modes de défaillance	101
4.2 Considérations relatives au profil de fonctionnement	102
4.3 Conditions de stockage	102
4.4 Conditions environnementales	103
5 Conditions de référence et modèles de contraintes génériques	105
5.1 Conditions de référence génériques recommandées	105
5.2 Modèles de contraintes génériques	105
5.2.1 Généralités	105
5.2.2 Facteur de contrainte applicable à l'influence de la tension, π_U	106
5.2.3 Facteur de contrainte applicable à l'influence du courant, π_I	106
5.2.4 Facteur de contrainte applicable à l'influence de la température, π_T	107
5.2.5 Facteur d'environnement, π_E	108
5.2.6 Autres facteurs d'influence	109
6 Conditions de référence et modèles de contraintes spécifiques	110
6.1 Circuits intégrés à semi-conducteurs	110
6.1.1 Conditions de référence	110
6.1.2 Facteurs de contrainte	112
6.2 Composants discrets à semi-conducteurs	116
6.2.1 Conditions de référence	116
6.2.2 Facteurs de contrainte	117
6.3 Composants optoélectroniques	122
6.3.1 Conditions de référence	122
6.3.2 Facteurs de contrainte	124
6.4 Condensateurs	127
6.4.1 Conditions de référence	127
6.4.2 Facteurs de contrainte	128
6.5 Résistances et réseaux résistifs	131
6.5.1 Conditions de référence	131
6.5.2 Facteurs de contrainte	131
6.6 Inductances, transformateurs et bobinages	132
6.6.1 Conditions de référence	132
6.6.2 Facteurs de contrainte	133
6.7 Dispositifs pour hyperfréquences	134
6.7.1 Conditions de référence	134
6.7.2 Facteurs de contrainte	134
6.8 Autres composants passifs	134
6.8.1 Conditions de référence	134

6.8.2 Facteurs de contrainte	135
6.9 Connexions électriques	135
6.9.1 Conditions de référence	135
6.9.2 Facteurs de contrainte	136
6.10 Connecteurs et supports	136
6.10.1 Conditions de référence	136
6.10.2 Facteurs de contrainte	136
6.11 Relais	136
6.11.1 Conditions de référence	136
6.11.2 Facteurs de contrainte	137
6.12 Commutateurs et boutons-poussoirs	139
6.12.1 Conditions de référence	139
6.12.2 Facteurs de contrainte	139
6.13 Lampes de signalisation et voyants	141
6.13.1 Conditions de référence	141
6.13.2 Facteurs de contrainte	141
Annexe A (normative) Modes de défaillance des composants	142
Annexe B (informative) Prévion des taux de défaillance	144
Annexe C (informative) Considérations sur la conception d'une base de données concernant les taux de défaillance	156
Annexe D (informative) Sources potentielles de données de taux de défaillance et méthodes de sélection	159
Annexe E (informative) Présentation générale de la classification des composants	166
Annexe F (informative) Exemples	178
Bibliographie	180
Figure 1 – Choix des zones de contrainte conformément aux conditions de fonctionnement du courant et de la tension	137
Figure 2 – Choix des zones de contrainte conformément aux conditions de fonctionnement du courant et de la tension	140
Figure B.1 – Profil de contrainte	149
Figure B.2 – Calcul de la moyenne des taux de défaillance	149
Tableau 1 – Environnements de base	104
Tableau 2 – Valeurs des agents environnementaux pour des environnements de base	104
Tableau 3 – Conditions de référence recommandées pour les contraintes environnementales et mécaniques	105
Tableau 4 – Facteur d'environnement, π_E	109
Tableau 5 – Mémoire	110
Tableau 6 – Microprocesseurs et périphériques, microcontrôleurs et processeurs de signaux	111
Tableau 7 – Familles logiques numériques et interfaces de bus, circuit de commande et circuit récepteur de bus	111
Tableau 8 – Circuits intégrés analogiques	112
Tableau 9 – Circuits intégrés à application spécifique (ASIC)	112
Tableau 10 – Constantes pour l'influence de la tension	113
Tableau 11 – Facteur π_U pour les circuits intégrés numériques CMOS	113

Tableau 12 – facteur π_U pour les circuits intégrés analogiques bipolaires.....	113
Tableau 13 – Constantes pour l'influence de la température	113
Tableau 14 – Facteur π_T pour les circuits intégrés (sauf mémoire EPROM, FLASH-EPROM, OTPROM, EEPROM, EAROM)	115
Tableau 15 – Facteur π_T pour mémoires EPROM, FLASH-EPROM, OTPROM, EEPROM, EAROM.....	115
Tableau 16 – Transistors communs, à basse fréquence	116
Tableau 17 – Transistors, hyperfréquences, par exemple, RF >800 MHz	116
Tableau 18 – Diodes	117
Tableau 19 – Dispositifs de puissance à semi-conducteurs.....	117
Tableau 20 – Constantes pour l'influence de la tension pour les transistors	118
Tableau 21 – Facteur π_U pour les transistors	118
Tableau 22 – Constantes pour l'influence de la température pour les composants discrets à semi-conducteurs	118
Tableau 23 – Facteur π_T pour les transistors, les diodes de référence et les diodes hyperfréquences	120
Tableau 24 – Facteur π_T pour les diodes (sauf les diodes de référence et les diodes hyperfréquences) et les dispositifs de puissance à semi-conducteurs	121
Tableau 25 – Récepteurs de signaux optoélectroniques, à semi-conducteurs	122
Tableau 26 – DEL (diodes électroluminescentes), IRED (infrarouge), diodes laser et composants d'émetteurs	122
Tableau 27 – Photocoupleurs et barrières photo-électriques	123
Tableau 28 – Composants optiques passifs	123
Tableau 29 – Emetteur-récepteur, transpondeur et sous-équipement optique	124
Tableau 30 – Constantes pour l'influence de la tension sur les phototransistors	125
Tableau 31 – Facteur π_U pour les phototransistors.....	125
Tableau 32 – Constantes pour l'influence du courant sur les DEL et IRED	125
Tableau 33 – Facteur π_T pour les DEL et les IRED	125
Tableau 34 – Constantes pour l'influence de la température sur les composants optoélectroniques	125
Tableau 35 – Facteur π_T pour les composants optiques.....	126
Tableau 36 – Condensateurs	127
Tableau 37 – Constantes pour l'influence de la tension sur les condensateurs.....	128
Tableau 38 – Facteur π_U pour les condensateurs	129
Tableau 39 – Constantes pour l'influence de la température sur les condensateurs	129
Tableau 40 – Facteur π_T pour les condensateurs.....	130
Tableau 41 – Résistances et réseaux résistifs	131
Tableau 42 – Constantes pour l'influence de la température sur les éléments résistifs.....	132
Tableau 43 – Facteur π_T pour les éléments résistifs	132
Tableau 44 – Inductances, transformateurs, bobinages	133
Tableau 45 – Constantes pour l'influence de la température sur les inductances, transformateurs et bobinages.....	133
Tableau 46 – Facteur π_T pour les inductances, les transformateurs et les bobinages.....	134

Tableau 47 – Dispositifs pour hyperfréquences	134
Tableau 48 – Autres composants passifs	135
Tableau 49 – Connexions électriques	135
Tableau 50 – Connecteurs et supports	136
Tableau 51 – Relais	136
Tableau 52 – Facteur π_{ES} pour les relais à faible courant	138
Tableau 53 – Facteur π_{ES} pour relais d'usage général	138
Tableau 54 – Facteur π_{ES} pour les relais pour l'automobile	138
Tableau 55 – Constantes pour l'influence de la température sur les relais	139
Tableau 56 – Facteur π_T pour les relais	139
Tableau 57 – Commutateurs et boutons-poussoirs	139
Tableau 58 – Facteur π_{ES} pour les commutateurs et boutons-poussoirs pour faibles contraintes électriques	140
Tableau 59 – Facteur π_{ES} pour les commutateurs et boutons-poussoirs pour contraintes électriques plus élevées	140
Tableau 60 – Lampes de signalisation et voyants	141
Tableau 61 – Facteur π_U pour les voyants et lampes de signalisation	141
Tableau A.1 – Modes de défaillance: Circuits intégrés (numériques)	142
Tableau A.2 – Modes de défaillance: transistors, diodes, photocoupleurs	142
Tableau A.3 – Modes de défaillance: condensateurs	143
Tableau A.4 – Modes de défaillance: résistances, appareils inductifs, relais	143
Tableau C.1 – Eléments d'une base de données pour la prévision de fiabilité	158
Tableau D.1 – Sources de données de fiabilité (par ordre alphabétique)	161
Tableau E.1 – Arbre de classification (CEI 61360)	167

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

COMPOSANTS ÉLECTRIQUES – FIABILITÉ – CONDITIONS DE RÉFÉRENCE POUR LES TAUX DE DÉFAILLANCE ET MODÈLES DE CONTRAINTES POUR LA CONVERSION

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 61709 a été établie par le comité d'études 56 de la CEI: Sûreté de fonctionnement.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition, parue en 1996. Elle constitue une révision technique.

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

- l'addition de plusieurs types de composants et l'actualisation des modèles pour nombreux types de composants;
- l'addition des annexes relatives aux prévisions de fiabilité, des sources des données de taux de défaillance et des informations relatives au classification des composants.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
56/1422/FDIS	56/1431/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.

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

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

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

INTRODUCTION

La présente Norme Internationale est destinée aux prévisions de fiabilité des composants utilisés dans les équipements et s'adresse aux organismes qui disposent de leurs propres données. Elle décrit par ailleurs les méthodes pour établir et utiliser ces données afin de réaliser des prévisions de fiabilité.

La présente norme peut également permettre à un organisme d'établir une base de données de taux de défaillance et de décrire les conditions de référence pour lesquelles il convient d'établir des taux de défaillance en exploitation. Les conditions de référence adoptées dans la présente norme sont typiques de la plupart des applications de composants dans des équipements. Toutefois, lorsque les composants sont utilisés dans d'autres conditions, les utilisateurs peuvent vouloir déclarer ces conditions comme leurs conditions de référence.

L'application des modèles de contrainte présentés permet d'extrapoler les taux de défaillance pour d'autres conditions de fonctionnement qui, à leur tour, permettent de prévoir les taux de défaillance à l'étape de la fabrication. Ceci permet d'estimer l'effet des modifications de conception ou des changements observés dans les conditions d'environnement sur la fiabilité des composants. La prévision de fiabilité se révèle très utile dans la première phase de conception des matériels électriques. On peut s'en servir, par exemple, pour mettre en évidence de possibles défauts de fiabilité, pour mettre au point les principes de logistique de maintenance et pour évaluer des conceptions.

Les modèles de contrainte exposés dans la présente norme sont génériques et aussi simples que possible, tout en pouvant toujours être comparés aux équations plus complexes propres à d'autres modèles.

La présente norme ne présente pas de taux de défaillance, mais décrit les méthodes qui permettent de les établir et de les utiliser. Cette approche permet à un utilisateur de choisir les taux de défaillance les plus appropriés et actualisés à partir desquels il peut établir des prévisions à partir d'une source de son choix. La présente norme apporte également des informations sur la méthode de sélection des données pouvant être utilisées dans les modèles présentés.

COMPOSANTS ÉLECTRIQUES – FIABILITÉ – CONDITIONS DE RÉFÉRENCE POUR LES TAUX DE DÉFAILLANCE ET MODÈLES DE CONTRAINTES POUR LA CONVERSION

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale donne des recommandations concernant les méthodes d'utilisation des données de taux de défaillance pour les prévisions de fiabilité de composants électriques d'équipements.

Les conditions de référence sont des valeurs numériques de contraintes généralement observées sur les composants dans la plupart des applications. Ces conditions de référence sont utiles dans la mesure où elles permettent de calculer le taux de défaillance dans toutes conditions, en appliquant des modèles de contrainte qui tiennent compte des conditions de fonctionnement réelles. Les taux de défaillance indiqués dans les conditions de référence permettent de réaliser des prévisions de fiabilité réalistes dès la première phase de conception.

Les modèles de contrainte décrits dans la présente norme sont génériques et peuvent être utilisés comme base de conversion des données de taux de défaillance dans ces conditions de référence, dans des conditions de fonctionnement réelles si nécessaire, ce qui simplifie l'approche prévisionnelle. La conversion des données de taux de défaillance n'est possible que dans les limites de fonctionnement spécifiées pour les composants.

La présente norme donne également des recommandations concernant les méthodes pour constituer une base de données de taux de défaillance des composants afin que les taux fournis puissent être employés avec les modèles de contrainte fournis. On définit des conditions de référence pour les données de taux de défaillance de façon à permettre de comparer, dans des conditions uniformes, des données d'origines différentes. Si les données de taux de défaillance sont fournies conformément à la présente norme, il n'est alors pas nécessaire de donner des informations supplémentaires sur les conditions définies.

La présente norme ne fournit pas des taux de défaillance de base pour les composants; elle fournit en revanche des modèles qui permettent de convertir les taux de défaillance obtenus par d'autres moyens d'une condition de fonctionnement à l'autre.

La méthodologie de prévision décrite dans la présente norme pose comme hypothèse l'utilisation des éléments au cours de leur durée de vie utile. Les méthodes décrites dans la présente norme ont une application générale, mais s'appliquent spécifiquement à une sélection de types de composants définis dans l'Article 6 et dans l'Article E.2.

2 Références normatives

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

CEI 60050-191, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 191: Sécurité de fonctionnement et qualité de service*

CEI 60605-6, *Essais de fiabilité des équipements – Partie 6: Tests pour la validité et l'estimation du taux de défaillance constant et de l'intensité de défaillance constante*

CEI 60721-3-3, *Classification des conditions d'environnement – Partie 3: Classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités – Section 3: Utilisation à poste fixe, protégé contre les intempéries*

CEI 60721-3-4, *Classification des conditions d'environnement – Partie 3: Classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités – Section 4: Utilisation à poste fixe, non-protégé contre les intempéries*

CEI 60721-3-5, *Classification des conditions d'environnement – Partie 3: Classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités – Section 5: Installation de véhicules terrestres*

CEI 60721-3-7, *Classification des conditions d'environnement – Partie 3-7: Classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités – Section 7: Utilisation en déplacement*

3 Termes, définitions et symboles

Pour les besoins du présent document, les définitions de la CEI 60050-191, ainsi que les définitions suivantes, s'appliquent.

3.1 Termes et définitions

3.1.1

composant électrique

composant doté de terminaisons conductrices à travers lesquelles on peut appliquer des tensions ou injecter des courants

[CEI 61360-1:2009, 2.18]

NOTE Le terme composant électrique inclut les termes « composant électronique », « composant électrique » et « composant électromécanique » couramment utilisés.

3.1.2

défaillance (d'une entité)

perte de l'aptitude à accomplir une fonction requise

NOTE 1 Lorsque la perte de l'aptitude est due à une panne latente préexistante, la défaillance se produit lorsqu'un ensemble particulier de circonstances est réuni.

NOTE 2 La défaillance d'une entité représente un événement qui se traduit par la panne de cette entité, qui constitue un état.

3.1.3

mode de défaillance

mode d'apparition d'une défaillance

NOTE Un mode de défaillance peut être défini par la fonction perdue ou la transition d'état opérée.

3.1.4

taux de défaillance instantané

taux de défaillance

limite, si elle existe, du quotient de la probabilité conditionnelle pour qu'une défaillance d'une entité non réparable se produise dans l'intervalle de temps $(t, t + \Delta t)$ à Δt lorsque Δt tend vers zéro, en supposant que la défaillance ne s'est pas produite dans l'intervalle de temps $(0, t)$

NOTE 1 Le taux de défaillance instantané, $\lambda(t)$, est exprimé par la formule:

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)}$$

où $F(t)$ et $f(t)$ sont respectivement la fonction de distribution et la densité de probabilité instantanée de défaillance, et où $R(t)$ est la fonction de fiabilité, associée à la fiabilité $R(t_1, t_2)$ by $R(t) = R(0, t)$.

NOTE 2 Se reporter à la CEI 61703.

NOTE 3 Les autres termes employés pour le taux de défaillance instantané sont « fonction de danger », « taux de danger » et « taux instantané de mortalité » (abréviation FOM – *force of mortality*).

NOTE 4 Dans la présente norme, $\lambda(t)$ est supposé être constant dans la durée.

3.1.5

conditions de référence

contraintes sélectionnées de manière à correspondre à la plupart des applications et utilisations de composants dans des équipements

NOTE Les contraintes incluent les contraintes électriques, la température et les conditions environnementales.

3.1.6

taux de défaillance de référence

taux de défaillance établi dans les conditions de référence données dans la présente norme

NOTE Le taux de défaillance de référence est spécifique au composant, c'est-à-dire qu'il tient compte des effets de la complexité, du type de boîtier, de l'influence des fabricants et du procédé de fabrication, etc.

3.1.7

cycle de service

séquence spécifiée de conditions de fonctionnement

[CEI 60050-151:2001, 151-16-02]

NOTE Le cycle de service précise si les composants subissent des contraintes de façon permanente ou intermittente pendant leur utilisation. Le service continu désigne une utilisation de longue durée avec des charges constantes ou variables (par exemple, commandes de procédés, commutateur téléphonique). Le service intermittent désigne une utilisation avec des charges constantes ou variables pendant l'état actif (par exemple, commandes numériques de machines, feux de signalisation routiers).

3.1.8

prévision

opération ayant pour but le calcul de la valeur prévue d'une grandeur

NOTE Le terme « prévision » peut également être employé pour désigner la valeur prévue d'une grandeur.

3.1.9

composant

partie constitutive d'un dispositif ne pouvant être fractionnée matériellement sans perdre sa fonction particulière

[CEI 60050:2001, 151-11-21]

3.1.10

équipement, matériel

appareil unique ou ensemble de dispositifs ou appareils, ou ensemble des dispositifs principaux d'une installation, ou ensemble des dispositifs nécessaires à l'accomplissement d'une tâche particulière

NOTE Des exemples d'équipement ou de matériel sont un transformateur de puissance, l'équipement d'une sous-station, un équipement de mesure.

[CEI 60050-151:2001, 151-11-25]

3.1.11

durée de vie utile

intervalle de temps qui s'écoule entre la première utilisation et la fin de la satisfaction des exigences de l'utilisateur, pour des raisons économiques ou d'obsolescence

3.1.12

dérive

différence entre la valeur finale d'une caractéristique à la fin d'une période spécifiée et la valeur initiale, toutes les autres conditions de fonctionnement étant maintenues constantes

NOTE L'emploi du terme "dérive" pour faire référence à la variation immédiate d'une caractéristique en réponse directe à des conditions de fonctionnement modifiées (par exemple, température) est déconseillé.

[CEI 60747-1 :2006, 3.6.1 modifiée]

3.1.13

température virtuelle

température équivalente interne (d'un dispositif à semi-conducteurs)

température théorique basée sur une représentation simplifiée du comportement thermique et électrique d'un dispositif à semi-conducteurs

[CEI 60050-521:2002, 521-05-14, modifiée]

3.1.14

température virtuelle (équivalente) de jonction

température virtuelle de la jonction d'un dispositif à semi-conducteurs

[CEI 60050-521:2002, 521-05-15]

NOTE La température virtuelle n'est pas nécessairement la température du point le plus chaud du dispositif.

3.2 Symboles

Dans la présente norme, les symboles suivants sont utilisés:

S	nombre de cycles de fonctionnement par heure
E_a	énergie d'activation d'un processus de défaillance
I_{op}	courant de fonctionnement
I_{rat}	courant assigné
I_{ref}	courant de référence
P_{op}	puissance dissipée en fonctionnement
P_{rat}	puissance dissipée assignée
P_{ref}	puissance dissipée de référence
$R(t_1, t_2)$	fonction de fiabilité entre deux temps t_1 et t_2
R_{th}	résistance thermique
$R_{th, amb}$	résistance thermique (dans l'environnement)
S_{ref}	nombre de référence de cycles de fonctionnement par heure
T_{amb}	température ambiante en Kelvin
T_0	température ambiante de référence en Kelvin
T_{ref}	température de référence en Kelvin
U_{op}	tension de fonctionnement
U_{rat}	tension assignée
U_{ref}	tension de référence
t_p	durée pendant laquelle un ensemble est sous une contrainte partielle
t_i	temps d'arrêt d'un ensemble

t_f	durée pendant laquelle un ensemble est sous une contrainte maximale
β	paramètre de forme de la loi de Weibull
ΔT	échauffement propre réel en degrés Celsius
ΔT_{ref}	échauffement propre de référence en degrés Celsius
θ_{amb}	température ambiante en degrés Celsius – pour les condensateurs, la température réelle du condensateur – pour les composants discrets à semi-conducteurs et les composants optoélectroniques, la température réelle de jonction – pour les inductances, la température réelle de bobinage – pour les circuits intégrés, la température virtuelle (équivalente) réelle de jonction – pour les autres composants électriques, la température ambiante réelle – pour les résistances, la température réelle de l'élément résistif
θ_{op}	température de service en degrés Celsius
θ_0	température ambiante de référence en degrés Celsius
θ_{ref}	température de référence en degrés Celsius – pour les condensateurs, la température de référence du condensateur; – pour les composants discrets à semi-conducteurs et les composants optoélectroniques, la température de jonction de référence; – pour les inductances, la température de référence de bobinage; – pour les circuits intégrés, la température virtuelle (équivalente) de jonction de référence; – pour les autres composants électriques, la température de référence du composant. – pour les résistances, la température de référence de l'élément résistif;
λ_f	taux de défaillance pour un ensemble sous une contrainte maximale
λ_p	taux de défaillance sous une contrainte partielle pour un ensemble
λ_i	taux de défaillance au cours du temps d'arrêt d'un ensemble
$\lambda_{\text{composant}}$	taux de défaillance d'un composant
λ_{mode}	taux de défaillance relatif à un mode de défaillance d'un composant
λ_S	taux de défaillance d'un système
λ	taux de défaillance dans les conditions de fonctionnement
λ_{ref}	taux de défaillance dans les conditions de référence
π_i	facteur traduisant l'influence du courant
π_{ES}	facteur traduisant l'influence des contraintes électriques
π_E	facteur traduisant l'influence de l'environnement
π_{op}	facteur de contrainte traduisant l'influence du profil de fonctionnement
π_S	facteur traduisant l'influence de la fréquence de manœuvre
π_T	facteur traduisant l'influence de la température
π_U	facteur traduisant l'influence de la tension

4 Contexte et conditions

4.1 Modes de défaillance

La caractéristique préférentielle comme donnée de fiabilité de composants électriques est le taux de défaillance (instantané). Il est à noter que, bien qu'il soit souvent défini de manière

générique comme une défaillance, l'événement exact observé qui est mesuré est un mode de défaillance.

Une défaillance (mode de) ou une perte de fonction d'un équipement est provoquée par le mode de défaillance d'un composant lorsque ce mode de défaillance touche l'application exécutée par l'équipement.

Il convient de noter qu'un composant comporte de nombreuses caractéristiques, dont seulement certaines peuvent être utilisées dans l'application spécifique. Une perte de fonction au niveau de l'équipement se produit uniquement lors de la perte de la caractéristique du composant permettant cette fonction.

Par ailleurs, un circuit nécessite l'existence de caractéristiques de composants selon ce qui a été défini par le concepteur, ce qui peut ne pas englober la totalité des caractéristiques du composant et peut ne pas utiliser une caractéristique particulière à sa capacité maximale, telle que définie par la fiche technique en termes de caractéristiques fonctionnelles et assignées.

Les recueils définissent habituellement le taux de défaillance comme une valeur globale qui inclut tous les modes de défaillance. Ceci signifie que le taux de défaillance d'un composant peut être considéré comme la somme des taux de défaillance de tous les modes, comme suit:

$$\lambda_{\text{composant}} = \sum_{i=1}^n (\lambda_{\text{mode}})_i \quad (1)$$

où $(\lambda_{\text{mode}})_i$ est le taux de défaillance du composant auquel se produit le mode de défaillance i et N est le nombre de modes de défaillance.

Les modes de défaillance sont énumérés à l'Annexe A et des informations plus détaillées concernant les défaillances sont fournies à l'Annexe B.

4.2 Considérations relatives au profil de fonctionnement

Le profil de fonctionnement constitue l'un des principaux facteurs qui affectent la fiabilité des composants. Il varie selon le type de fonctionnement appliqué. Ce fonctionnement peut être continu dans la durée à un niveau fixe, continu dans la durée à un niveau variable ou sporadique dans la durée à un niveau fixe ou variable. Dans certains cas, les mises sous tension et hors tension peuvent être significatives et se révéler plus importantes que les conditions de fonctionnement de régime permanent. Une attention toute particulière au profil de fonctionnement est nécessaire pour bien comprendre son influence sur la fiabilité des composants.

On peut considérer que le profil de fonctionnement est basé sur la durée calendaire ou sur la durée d'exploitation réelle. Il peut également être basé sur les cycles (par exemple, nombre d'utilisations d'une entité).

4.3 Conditions de stockage

Les composants soumis aux conditions de stockage ne sont pas protégés contre la défaillance mais les modèles de contrainte relatifs aux facteurs environnementaux définis dans la présente norme peuvent ne pas s'appliquer dans la mesure où ils traitent uniquement des conditions de fonctionnement. Des mécanismes de défaillance différents non pris en compte dans les modèles peuvent exister dans des conditions de stockage.

Il convient de traiter les conditions de stockage séparément des conditions de fonctionnement. Elles peuvent affecter le comportement vis-à-vis d'une défaillance des composants au cours de la durée de vie ultérieure.

4.4 Conditions environnementales

L'environnement contribue aux défaillances qui se produisent au cours de la durée de vie de l'équipement. Il convient par conséquent d'intégrer la durée et l'intensité des contraintes d'environnement au modèle d'exploitation de l'équipement.

Un environnement plus sévère peut générer des défaillances plus fréquentes qu'un environnement moins sévère. Plusieurs aspects environnementaux sont généralement associés à une défaillance spécifique et peuvent devoir être compris. La localisation de l'environnement étudié a également son importance: par exemple, dans un aéronef, l'environnement du poste de pilotage et l'environnement des moteurs sont très différents.

L'environnement peut être décrit à partir de plusieurs types de paramètres. La CEI 60721-3-3 décrit l'environnement en termes de

- conditions climatiques,
- conditions climatiques spéciales,
- conditions biologiques,
- substances chimiquement actives,
- substances mécaniquement actives,
- conditions mécaniques (tant statiques que dynamiques).

Toutes les conditions énumérées ci-dessus sont généralement pertinentes pour la fiabilité des équipements (taux de défaillance), et il est raisonnable de considérer que la fiabilité des composants, et par conséquent de l'équipement, diminue proportionnellement à l'augmentation de la contrainte environnementale (se reporter à la série CEI 60721 pour des descriptions quantitatives détaillées des agents environnementaux pour chaque environnement concerné).

La présente norme pose l'hypothèse que les conditions climatiques et mécaniques sont les plus importantes, cette hypothèse étant également valable pour de nombreuses applications types de composants. Il peut toutefois y avoir des situations dans lesquelles, par exemple, des conditions chimiques peuvent générer un taux de défaillance plus élevé.

Par conséquent, seuls les agents climatiques et les paramètres mécaniques sont utilisés pour décrire l'effet des environnements de référence sur les taux de défaillance. Toutefois, la température est traitée séparément dans la présente norme et, pour des raisons de simplicité, on traite trois environnements de base, désignés par convention E1, E2 et E3. Ces environnements font référence aux situations d'utilisation réelle générales, compte tenu des valeurs spécifiques des agents environnementaux. Ceux-ci sont définis dans le Tableau 1.

Tableau 1 – Environnements de base

E1	Utilisation à poste fixe, protégé contre les intempéries	L'environnement est insensible dans une large mesure aux conditions climatiques et l'humidité est contrôlée dans des limites définies. Cet environnement est typique des équipements de télécommunications et du matériel informatique situés dans des bâtiments. Il comprend l'environnement des bureaux
E2	Utilisation à poste fixe, protégé partiellement ou non protégé contre les intempéries	L'environnement est soumis à des contraintes thermiques et mécaniques influencées directement par les conditions naturelles. Cet environnement est typique des équipements installés à l'extérieur
E3	Utilisation à poste mobile et non fixe, installation sur véhicules au sol	L'environnement est soumis à des contraintes mécaniques et à des gradients thermiques élevés. Cet environnement est typique des équipements montés sur véhicules ou portatifs

D'autres environnements peuvent être définis, voir 5.2.5 pour des informations détaillées.

Le Tableau 2 donne les valeurs des agents environnementaux et leur relation avec les classes indiquées dans les normes CEI correspondantes.

L'effet de l'environnement peut être décrit comme une modification du taux de défaillance, en utilisant un facteur d'environnement π_E (voir Tableau 4). Noter que π_E est un facteur discret dans la mesure où il est basé sur des données non continues et où il synthétise un grand nombre de facteurs de niveau inférieur différents.

Tableau 2 – Valeurs des agents environnementaux pour des environnements de base

Environnement de base	E1 Utilisation à poste fixe, protégé contre les intempéries	E2 Utilisation à poste fixe, protégé partiellement ou non protégé contre les intempéries	E3 Utilisation à poste mobile et non fixe, installation sur véhicules au sol
Variation de la température	$\leq 0,5 \text{ }^{\circ}\text{C/min}$	$> 0,5 \text{ }^{\circ}\text{C/min}$	$> 0,5 \text{ }^{\circ}\text{C/min}$
Vibrations stationnaires, sinusoïdales	2-9 Hz $< 1,5 \text{ mm}$ 9-200 Hz $\leq 5 \text{ m/s}^2$	2-9 Hz $\leq 3 \text{ mm}$ 9-200 Hz $\leq 10 \text{ m/s}^2$	2-9 Hz $> 3 \text{ mm}$ 9-200 Hz $\geq 10 \text{ m/s}^2$ 200-500 Hz $\geq 15 \text{ m/s}^2$
Vibrations non stationnaires, y compris les chocs	$\leq 70 \text{ m/s}^2$	$\leq 250 \text{ m/s}^2$	$> 250 \text{ m/s}^2$
Classes de la CEI 60721-3-3	3K1 3K2 3K3 3K4 3K5 3K6 3M1 3M2 3M3	3K7 3K7L 3K8 3K8H 3K8L 3K9 3K10 3M4 3M5 3M6 3M7	–
Classes de la CEI 60721-3-4	–	–	4K1 4K2 4K3 4K4 4K4H 4K4L
Classes de la CEI 60721-3-5	–	–	5K1 5K2 5K3 5K4 5K4H 5K4L 5K5 5K6 5M1 5M2 5M3
Classes de la CEI 60721-3-7	–	–	7K1 7K2 7K3 7K4 7K5
Classes ETS 300 019-1-3	3.1; 3.2; 3.3	3.4 ; 3.5	–
Classes ETS 300 019-1-4	–	4.1; 4.1E	–
Classes ETS 300 019-1-8	8.1 + Note	–	–
Classes ETS 300 019-1-5	–	–	5.1 ; 5.2
Classes ETS 300 019-1-7	–	–	7.1; 7.2; 7.3; 7.3E

La présente norme est rédigée de manière à ne contenir que les trois environnements concernés pour des raisons de simplicité. L'utilisateur peut toutefois décrire tout environnement avec la même méthodologie et évaluer l'effet de l'environnement d'application approprié π_E décrit en 5.2.5.

5 Conditions de référence et modèles de contraintes génériques

5.1 Conditions de référence génériques recommandées

Les conditions de référence génériques sont celles qui s'appliquent à tous les types de composants. Dans la présente norme, cela inclut les contraintes électriques, la température et les conditions environnementales. Si cela est approprié et si des modèles sont disponibles, ces conditions peuvent être considérées au niveau spécifique des composants.

Il convient que les recommandations définies dans le Tableau 3 soient observées par un organisme à moins qu'elles ne soient pas appropriées aux conditions normales de fonctionnement des équipements de cet organisme. L'organisme peut alors choisir librement ses propres conditions de référence appropriées.

Les valeurs choisies représentent la plupart des conditions de fonctionnement des composants. Il convient que tout organisme choisisse des conditions plus proches de son expérience réelle si ces conditions diffèrent de celles indiquées dans le Tableau 3.

Des modèles génériques ne sont pas disponibles.

Tableau 3 – Conditions de référence recommandées pour les contraintes environnementales et mécaniques

Type de contrainte	Condition de référence ^a
Température ambiante ^b	$\theta_0 = 40\text{ °C}$
Condition environnementale	Environnement E1 (voir Tableau 1)
Contraintes spéciales	Non traité dans la présente norme ^c
^a Les taux de défaillance donnés dans ces conditions s'appliquent uniquement à des composants qui n'ont pas été endommagés pendant le transport et le stockage. ^b Pour les besoins de la présente norme, la température ambiante est la température du milieu environnant le composant au cours du fonctionnement de l'équipement, en ne tenant pas compte de tout échauffement propre potentiel du composant. Il convient de définir le milieu environnant du composant. ^c Les contraintes spéciales comprennent le vent, la pluie et la neige, la formation de givre, les ruissellements, les pulvérisations ou jets d'eau, la poussière (chimiquement active ou non), les effets des animaux nuisibles, les gaz corrosifs, les rayonnements radioactifs, etc. Ces contraintes peuvent constituer des éléments importants qui contribuent aux défaillances; toutefois, dans la mesure où elles constituent une bonne pratique générale, il convient de les traiter par des méthodes de conception. Leur effet peut dans certains cas être traité par des modèles applicables. Les effets de ces contraintes sont si étendus qu'il serait inapproprié de les traiter dans la présente norme.	

5.2 Modèles de contraintes génériques

5.2.1 Généralités

Les composants peuvent ne pas toujours fonctionner dans les conditions de référence. Dans ces cas, les taux de défaillance observés dans les conditions de fonctionnement sont différents de ceux donnés pour les conditions de référence. Il peut donc être nécessaire d'utiliser des modèles pour les facteurs de contrainte permettant de convertir les taux de défaillance observés dans les conditions de référence en valeurs de taux de défaillance applicables dans les conditions de fonctionnement (température ambiante réelle et contraintes électriques réelles appliquées aux composants) et inversement. L'Article 6 décrit les modèles de contrainte et les valeurs de facteurs π spécifiques applicables aux catégories de composants, et qu'il convient d'utiliser pour convertir les taux de défaillance de référence

en taux de défaillance en exploitation. Les facteurs π sont des modificateurs de taux de défaillance associés à une contrainte ou une condition spécifique. Ces facteurs constituent une mesure de l'évolution du taux de défaillance provoquée par les changements de la contrainte ou de la condition concernée. Cependant, si des modèles plus spécifiques s'appliquent à des types particuliers de composants, il convient alors de s'en servir et de justifier et consigner leur utilisation.

La conversion des taux de défaillance n'est possible que dans les limites de fonctionnement spécifiées pour les composants.

Le taux de défaillance des composants dans les conditions de fonctionnement se calcule comme suit:

$$\lambda = \lambda_{\text{ref}} \times \pi_U \times \pi_I \times \pi_T \times \pi_E \times \pi_S \times \pi_{ES} \quad (2)$$

où

- λ_{ref} est le taux de défaillance dans les conditions de référence;
- π_U est le facteur traduisant l'influence de la tension;
- π_I est le facteur traduisant l'influence du courant;
- π_T est le facteur traduisant l'influence de la température;
- π_E est le facteur traduisant l'influence de l'environnement;
- π_S est le facteur traduisant l'influence de la fréquence de manœuvre;
- π_{ES} est le facteur traduisant l'influence des contraintes électriques.

5.2.2 Facteur de contrainte applicable à l'influence de la tension, π_U

$$\pi_U = \exp \left\{ C_3 \left[\left(\frac{U_{\text{op}}}{U_{\text{rat}}} \right)^{C_2} - \left(\frac{U_{\text{ref}}}{U_{\text{rat}}} \right)^{C_2} \right] \right\} \quad (3)$$

où

- U_{op} est la tension de fonctionnement en V;
- U_{ref} est la tension de référence en V;
- U_{rat} est la tension assignée en V;
- C_2, C_3 sont des constantes.

L'Equation (3) représente un modèle empirique permettant de décrire l'influence de la tension sur les taux de défaillance.

NOTE Lorsque des tensions absolues, qui peuvent se révéler nécessaires pour certains types de composants, sont appliquées, l'équation peut alors être modifiée en $\pi_U = \exp \left\{ C_1 \left(U_{\text{op}}^{C_2} - U_{\text{ref}}^{C_2} \right) \right\}$ où $C_1 = C_3 / U_{\text{rat}}^{C_2}$.

5.2.3 Facteur de contrainte applicable à l'influence du courant, π_I

$$\pi_I = \exp \left\{ C_4 \left[\left(\frac{I_{\text{op}}}{I_{\text{rat}}} \right)^{C_5} - \left(\frac{I_{\text{ref}}}{I_{\text{rat}}} \right)^{C_5} \right] \right\} \quad (4)$$

où

I_{op} est le courant de fonctionnement en A;

I_{ref} est le courant de référence en A;

I_{rat} est le courant assigné en A;

C_4, C_5 sont des constantes.

L'Equation (4) représente un modèle empirique permettant de décrire l'influence du courant sur les taux de défaillance.

5.2.4 Facteur de contrainte applicable à l'influence de la température, π_T

$$\pi_T = \exp \left[\frac{Ea_1}{k_0} \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T_{op}} \right) \right] \quad (5)$$

L'Equation (5) est un modèle empirique basé sur l'équation d'Arrhénius qui décrit l'influence de la température sur les taux de défaillance. En théorie, il convient d'effectuer ce calcul pour chaque mode de défaillance; la pratique courante consiste toutefois à effectuer ce calcul en utilisant la moyenne de toutes les énergies d'activation pour tous les modes de défaillance. Il convient de noter que l'énergie d'activation peut dans ce dernier cas être fonction également de la température dans la mesure où elle est liée aux différentes énergies d'activation des modes de défaillance sous-jacents. Cet effet est toutefois généralement ignoré.

Dans certains cas, un modèle plus complexe utilisant deux énergies d'activation est adapté à l'influence de la température sur les taux de défaillance. Dans une telle situation, le modèle suivant, représenté par l'Equation (6), peut être appliqué. L'utilisation du modèle avec deux énergies d'activation (E_{a1}, E_{a2}) est considérée suffisante pour une modélisation adéquate de la relation température-taux de défaillance. (Cette relation est parfois désignée sous l'appellation « risques concurrentiels », voir JESD-85 pour des informations détaillées.)

Cette équation d'Arrhénius étendue est normalisée pour éviter l'utilisation d'énergies d'activation elles-mêmes fonctions de la température, lors de la modification de la température de référence, T_{ref} .

$$\pi_T = \frac{A \times \exp(Ea_1 \times z) + (1 - A) \times \exp(Ea_2 \times z)}{A \times \exp(Ea_1 \times z_{ref}) + (1 - A) \times \exp(Ea_2 \times z_{ref})} \quad (6)$$

avec les variables auxiliaires

$$z = \frac{1}{k_0} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_{op}} \right) \quad \text{et} \quad z_{ref} = \frac{1}{k_0} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \quad \text{en (eV)}^{-1}$$

où, dans les Equations (5) et (6):

A est une constante;

E_{a1}, E_{a2} sont les énergies d'activation en eV;

$k_0 = 8,616 \times 10^{-5} \text{ eV/K};$

$T_0 = 313 \text{ K};$

$T_{ref} = (\theta_{ref} + 273) \text{ en K};$

$$T_{op} = (\theta_{op} + 273) \text{ en K.}$$

Les températures θ_{ref} et θ_{op} en degrés Celsius, susmentionnées, sont les suivantes:

- pour les circuits intégrés:
 - θ_{ref} : température virtuelle (équivalente) de jonction de référence;
 - θ_{op} : température virtuelle (équivalente) réelle de jonction;
- pour les composants discrets à semi-conducteurs et les composants optoélectroniques:
 - θ_{ref} : température de jonction de référence;
 - θ_{op} : température de jonction réelle;
- pour les condensateurs:
 - θ_{ref} : température de condensateur de référence;
 - θ_{op} : température réelle des condensateurs;
- pour les résistances:
 - θ_{ref} : température moyenne de référence de l'élément résistif (par exemple, film);
 - θ_{op} : température moyenne réelle de l'élément résistif;
- pour les inductances:
 - θ_{ref} : température moyenne de référence de bobinage;
 - θ_{op} : température moyenne réelle de bobinage;
- pour les autres composants électriques:
 - θ_{ref} : température ambiante de référence;
 - θ_{op} : température ambiante réelle.

5.2.5 Facteur d'environnement, π_E

5.2.5.1 Généralités

Certains recueils de données fournissent des recommandations concernant le transfert de l'estimation d'un taux de défaillance d'une condition environnementale à une autre. Le concept semble logique, mais comporte un certain risque. C'est la raison pour laquelle la présente norme se concentre davantage sur des situations pour lesquelles les taux de défaillance de base sont obtenus de conditions environnementales analogues à celles appliquées dans la pratique au composant. Voir B.4.4 pour plus d'informations.

L'influence des conditions d'environnement sur le composant dépend essentiellement de la conception de l'équipement; par exemple, l'utilisation de l'équipement à bord de navires ou dans le secteur automobile, et non dans des locaux protégés (conditions de laboratoire), n'implique pas de conditions environnementales particulières si le composant est protégé dans l'équipement. L'influence effective ou non de l'environnement d'application dépend par conséquent essentiellement du fabricant de l'équipement. La conception d'un environnement spécifique relève de la responsabilité d'un organisme. Si l'influence de ces contraintes ne peut être évitée, des études spécifiques se révèlent alors nécessaires pour ces équipements.

La question de la nécessité d'appliquer un facteur d'environnement se pose uniquement si les données de taux de défaillance disponibles dans les recueils proviennent d'une source soumise à des conditions environnementales très différentes. L'utilisation d'un tel facteur d'environnement suppose que l'existence d'un environnement plus sévère contribue à l'activation de mécanismes de défaillance interne d'une manière prévisible et plus ou moins

linéaire. Cette hypothèse est inexacte pour certaines situations. L'utilisation d'un composant conçu pour un équipement au sol dans des conditions de choc et de vibrations sévères – ce qui peut détruire tous les composants en quelques heures – peut entraîner le calcul d'un facteur π_E , toutefois non significatif. La seule solution consiste à ne pas utiliser ce composant dans l'environnement concerné.

Il convient d'utiliser le facteur d'environnement π_E avec prudence.

Tableau 4 – Facteur d'environnement, π_E

Utilisation à poste fixe, protégé contre les intempéries	Utilisation à poste fixe, protégé partiellement ou non protégé contre les intempéries	Utilisation à poste mobile et non fixe, installation sur véhicules au sol
E1	E2	E3
1	2	4

NOTE Les recueils de données de taux de défaillance communiqués par le fournisseur d'un composant donnent souvent des recommandations concernant la méthode de transfert du taux de défaillance à d'autres conditions de fonctionnement et environnementales.

5.2.5.2 Influence de la fréquence de manœuvre π_S

Ce facteur π prend en compte le nombre de cycles de fonctionnement par heure, S , et s'applique uniquement aux relais.

$$a) \quad \pi_S = 1 \quad \text{pour } 0,01 < S < S_{\text{ref}} \quad (7)$$

NOTE Pour les faibles valeurs de cycles de fonctionnement par heure ($S < 0,01$), le facteur π_S peut atteindre 100 pour des contacts étanches, normalement fermés, ou pour des contacts non scellés, normalement ouverts avec de faibles charges.

$$b) \quad \pi_S = S/S_{\text{ref}} \quad \text{pour } S > S_{\text{ref}} \quad (8)$$

où

S est le nombre de cycles de fonctionnement par heure;

S_{ref} est le nombre de référence de cycles de fonctionnement par heure.

5.2.5.3 Influence des contraintes électriques π_{ES}

Ce facteur π de contrainte s'applique uniquement à certains dispositifs et est décrit en détail dans les articles associés.

5.2.6 Autres facteurs d'influence

D'autres facteurs de contrainte sont fournis pour chaque type de composants à l'Article 6 lorsque l'influence est connue.

Il n'existe actuellement aucune méthode de conversion d'application générale pour l'influence de l'humidité, la pression atmosphérique, la contrainte mécanique, etc. sur le taux de défaillance.

Si l'influence de ces types de contrainte sur le taux de défaillance est connue, il convient d'en tenir compte.

Si l'influence de ces types de contrainte sur le taux de défaillance n'est pas connue, mais est supposée être fonction de ces derniers, des études appropriées en la matière peuvent se révéler nécessaires.

6 Conditions de référence et modèles de contraintes spécifiques

6.1 Circuits intégrés à semi-conducteurs

6.1.1 Conditions de référence

Les recommandations suivantes applicables aux températures de référence données dans les Tableaux 5 à 9 sont fondées sur une température ambiante de composant de 40 °C et correspondent à la plupart des applications de composants dans des équipements.

L'échauffement propre de référence, $\Delta T_{\text{ref}} = P_{\text{ref}} \times R_{\text{th,amb}}$, doit être indiqué lorsque des températures de référence autres que celles indiquées dans les tableaux sont utilisées.

Pour tout circuit intégré, deux résistances thermiques sont généralement prises en considération; l'une étant située entre la jonction et le boîtier, et l'autre entre le boîtier et le milieu environnant. Il convient que la résistance thermique, $R_{\text{th,amb}}$, mentionnée ci-dessus soit la résistance la plus significative dans l'application considérée.

Lorsqu'un taux de défaillance est spécifié pour une température ambiante de 40 °C, la puissance dissipée de référence, P_{ref} , et la résistance thermique, $R_{\text{th,amb}}$, vers l'environnement pour lequel cette valeur s'applique doivent également être indiquées.

Tableau 5 – Mémoire

Composant		θ_{ref} °C	Note
Bipolaire	RAM, FIFO Statique	75	–
	PROM	75	
MOS, CMOS, BICMOS	RAM Dynamique	55	
	RAM, FIFO Statique lente (≥ 30 ns) Statique rapide (< 30 ns)	55	
	masque ROM	55	
	EPROM, OTPROM UV effaçable	55	
	FLASH	55	
	EEPROM, EAROM	55	

Tableau 6 – Microprocesseurs et périphériques, microcontrôleurs et processeurs de signaux

Composant		θ_{ref} °C	Note
Bipolaire		70	–
NMOS	Nombre de transistors ≤ 50 k	70	
	Nombre de transistors > 50 k	90	
CMOS	Nombre de transistors ≤ 5 k	50	
	Nombre de transistors > 5 k – 50 k	60	
	Nombre de transistors > 50 k – 500 k	80	
	Nombre de transistors > 500 k	90	
BICMOS		75	

Tableau 7 – Familles logiques numériques et interfaces de bus, circuit de commande et circuit récepteur de bus

Composant		θ_{ref} °C	Note
Bipolaire	TTL, -LS, -A(L)S, -F	45	–
	Interface bus	55	
	TTL S	80	
	ECL	65	
	10(LV)E(L) / 100(LV)E(I)(P)	75 60	
CMOS	HCMOS, CMOS B, AC MOS (FCT, HC, A(U), C, LVX), (LVC, LCX, LV) (VCX, ALVC, AVC, AHC, VHC) Commutateurs analogiques et logiques, interface bus	45	$U_{ref} = 5V$
	Interface bus	50	
	Circuit de commande / récepteur de bus RS422, RS423, RS485, CAN, etc. RS232, RS644/899, CML, etc.	55	
BICMOS	Logique	45	–
	Interface bus	50	
	ABT, BCT	50	
	LVT, ALVT	50	
	GTL(p)	50	
	BTL, ETL	95	
	Circuit de commande / récepteur de bus	55	

Tableau 8 – Circuits intégrés analogiques

Composant		θ_{ref} °C	Note
Amplificateurs opérationnels, comparateurs et régulateurs de tension	Bipolaire, BIFET CMOS	55 45	– $U_{ref}/U_{rat} = 0,7$
Eléments de référence	Toutes technologies	45	
Régulateurs à commutateur	Toutes technologies	55	
Amplificateurs et régulateurs de puissance (toutes technologies)	≤ 1 W	70	
	> 1 W	90	
CI Haute fréquence (> 100 MHz)			
Modulateur HF, démodulateur PLL, VCO	Bipolaire CMOS, BICMOS	65 45	
Emetteur, récepteur	Bipolaire CMOS, BICMOS	70 45	
Amplificateur / récepteur de puissance	GaAs	80	

Tableau 9 – Circuits intégrés à application spécifique (ASIC)

Composant			θ_{ref} °C	Note
ASIC, Circuits intégrés personnalisés, réseaux de portes, circuits intégrés de télécommunication, Convertisseurs A/N				–
Bipolaire	TTL		55	
	ECL		70	
	HV (> 50 V)		80	
NMOS			55	
CMOS, BICMOS	Numérique, analogique / mixte	Nombre de transistors ≤ 50 k	55	
		Nombre de transistors >50k – 50M	70	
		Nombre de transistors >50M	80	
	HV (> 50 V)		75	
ASIC programmables (PLA) non effaçables				
Bipolaires	TTL		80	
	ECL		85	
CMOS (anti-fusibles)			80	
ASIC programmables (PLA) effaçables				
NMOS, CMOS	Base RAM		80	
	Base EPROM	Nombre de transistors ≤ 5 k	70	
	Base EEPROM	Nombre de transistors > 5 k	80	
	Flash-EPROM		80	

6.1.2 Facteurs de contrainte

6.1.2.1 Modèles

Le taux de défaillance dans les conditions de fonctionnement est donné par les expressions suivantes, d'après l'Equation (1):

$$\lambda = \lambda_{ref} \times \pi_U \times \pi_T \quad \text{pour les circuits intégrés numériques CMOS et les circuits intégrés bipolaires analogiques} \quad (9)$$

$$\lambda = \lambda_{\text{ref}} \times \pi_T \quad \text{pour tous les autres circuits intégrés (CI)} \quad (10)$$

Les facteurs de contrainte traduisant l'influence de la tension et de la température sont donnés en 6.1.2.2 et 6.1.2.3, respectivement.

6.1.2.2 Influence de la tension, facteur π_U

Selon l'Equation (9), l'influence de la tension n'est prise en compte que pour les circuits intégrés numériques CMOS et les circuits intégrés bipolaires analogiques. Les constantes C_1 , C_2 et C_3 données dans le Tableau 10 sont utilisées, à moins que d'autres valeurs ne soient indiquées. Les résultats sont présentés dans les Tableaux 11 et 12.

Tableau 10 – Constantes pour l'influence de la tension

Circuit intégré	$U_{\text{ref}}/U_{\text{rat}}$	U_{ref}	C_1	C_2	C_3
Circuits intégrés numériques CMOS	–	5 V	0,1 V ⁻¹	1	–
Circuit intégré analogique	0,7	–	–	4,4	1,4

Tableau 11 – Facteur π_U pour les circuits intégrés numériques CMOS

U_{op} (V)	≤3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Facteur π_U	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7

Tableau 12 – facteur π_U pour les circuits intégrés analogiques bipolaires

$U_{\text{op}}/U_{\text{rat}}$	≤0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Facteur π_U	0,75	0,77	0,80	0,87	1,0	1,3	1,8	3,0

6.1.2.3 Influence de la température, facteur π_T

La relation donnée par l'Equation (5) ne s'applique qu'à des températures inférieures ou égales à la température de jonction assignée. Les constantes A , E_{a1} et E_{a2} données dans le Tableau 13 sont utilisées, à moins que d'autres valeurs ne soient indiquées. Les résultats sont présentés dans les Tableaux 14 et 15.

Tableau 13 – Constantes pour l'influence de la température

	A	E_{a1} eV	E_{a2} eV
Circuits intégrés (sauf EPROM, OTPROM, EEPROM, EAROM)	0,9	0,3	0,7
EPROM, OPTROM, EEPROM, EAROM	0,3	0,3	0,6

Le facteur π_T est obtenu à partir des Tableaux 14 et 15 en fonction :

- de la température virtuelle (équivalente) réelle de jonction;

$$\theta_{\text{op}} = \theta_{\text{amb}} + P \times R_{\text{th,amb}} \text{ en degrés Celsius,} \quad (11)$$

- et de la température virtuelle (équivalente) de jonction dans les conditions de référence (voir 6.1);

$$\theta_{\text{ref}} = 40 + \Delta T_{\text{ref}} \quad \text{en degrés Celsius,} \quad (12)$$

où ΔT_{ref} est mesuré ou calculé sous la forme $\Delta T_{\text{ref}} = P_{\text{ref}} \times R_{\text{th,amb}}$.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61709:2011

**Tableau 14 – Facteur π_T pour les circuits intégrés
(sauf mémoire EPROM, FLASH-EPROM, OTPROM, EEPROM, EAROM)**

θ_{ref} °C (voir 5.6.1)	Facteur π_T pour θ_{op} (°C)																					
	≤25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	110	120	130	140	150	175
40	0,54	0,67	0,82	1	1,2	1,5	1,8	2,2	2,7	3,3	4,1	5,1	6,3	7,7	9,6	12	18	28	44	67	102	275
45	0,44	0,54	0,67	0,82	1	1,2	1,5	1,8	2,2	2,7	3,4	4,1	5,1	6,3	7,8	9,7	15	23	36	55	83	225
50	0,36	0,45	0,55	0,67	0,82	1	1,2	1,5	1,8	2,2	2,8	3,4	4,2	5,2	6,4	8	12	19	29	45	68	184
55	0,3	0,37	0,45	0,55	0,67	0,82	1	1,2	1,5	1,8	2,3	2,8	3,4	4,2	5,3	6,5	10	16	24	37	56	150
60	0,24	0,3	0,37	0,45	0,55	0,67	0,82	1	1,2	1,5	1,8	2,3	2,8	3,5	4,3	5,3	8,2	13	20	30	46	123
65	0,2	0,24	0,3	0,37	0,45	0,55	0,67	0,82	1	1,2	1,5	1,9	2,3	2,8	3,5	4,4	6,7	10	16	24	37	100
70	0,16	0,2	0,24	0,3	0,37	0,45	0,54	0,67	0,82	1	1,2	1,6	1,9	2,3	2,9	3,6	5,5	8,5	13	20	30	82
75	0,13	0,16	0,2	0,24	0,3	0,36	0,44	0,54	0,66	0,81	1	1,2	1,5	1,9	2,3	2,9	4,5	6,9	11	16	25	67
80	0,11	0,13	0,16	0,2	0,24	0,29	0,36	0,44	0,54	0,66	0,81	1	1,2	1,5	1,9	2,3	3,6	5,69	8,6	13	20	54
85	0,087	0,11	0,13	0,16	0,2	0,24	0,29	0,36	0,44	0,54	0,66	0,81	1	1,2	1,5	1,9	2,9	4,5	7	11	16	44
90	0,07	0,086	0,11	0,13	0,16	0,19	0,24	0,29	0,35	0,43	0,53	0,66	0,81	1	1,2	1,5	2,4	3,7	5,6	8,7	13	36
95	0,057	0,07	0,085	0,1	0,13	0,16	0,19	0,23	0,29	0,35	0,43	0,53	0,65	0,81	1	1,2	1,9	3	4,6	7	11	29
100	0,046	0,056	0,069	0,084	0,1	0,13	0,15	0,19	0,23	0,28	0,35	0,43	0,53	0,65	0,81	1	1,5	2,4	3,7	5,6	8,5	23

Tableau 15 – Facteur π_T pour mémoires EPROM, FLASH-EPROM, OTPROM, EEPROM, EAROM

θ_{ref} °C (voir 5.6.1)	Facteur π_T pour θ_{op} (°C)																					
	≤25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	110	120	130	140	150	175
55	0,16	0,22	0,3	0,41	0,55	0,75	1	1,3	1,8	2,3	3,1	4,0	5,2	6,7	8,6	11	18	28	43	65	96	238

6.2.1 Conditions de référence

Pour les composants discrets à semi-conducteurs, deux résistances thermiques sont généralement prises en considération; l'une étant située entre la jonction et le boîtier, l'autre entre le boîtier et le milieu environnant. Il convient que la résistance thermique, $R_{th,amb}$ mentionnée ci-dessus soit la résistance la plus significative dans l'application considérée.

Tableau 16 – Transistors communs, à basse fréquence

Composant	θ_{ref} °C	Note
Bipolaire, universel par exemple, TO18, TO92, SOT(D)(3)23 ou analogue	55	$U_{\text{ref}}/U_{\text{rat}} = 0,5$
Réseaux de transistors	55	
Bipolaire, à faible puissance par exemple, TO5, TO39, SOT223, SO8, SMA-SMC	85	
Bipolaire, à puissance par exemple TO3, TO220, D(D)-Pack	100	
FET jonction	55	
MOS	55	
Puissance MOS (SIPMOS) par exemple TO3, TO220, D(D)-Pack	100	

Tableau 17 – Transistors, hyperfréquences, par exemple, RF >800 MHz

Composant		θ_{ref} °C	Note
Bipolaire	large bande, faible puissance de signal	55 125	$U_{\text{ref}}/U_{\text{rat}} = 0,5$
GaAs FET	faible signal, faible bruit puissance moyenne puissance élevée	95 110 145	
MOSFET	large bande, faible puissance de signal	55 125	

Tableau 18 – Diodes

Composant	θ_{ref} °C	Note
Diode universelle (également avec caractéristiques à avalanche)	55	–
Diode Schottky	55	
Diode limiteur de tension (diode de suppression de tension)	40	
Diode Zener ($P_{tot} < 1$ W) protection contre les surtensions ^a	40	
Diode Zener, puissance stabilisation ^b	100	
Diode de référence	45	
Diode pour hyperfréquences, à faible puissance de signal		
diode détectrice	45	
diode à condensateurs	45	
diode mélangeuse	70	
diode PIN	55	
Diode pour hyperfréquences, puissance		
varacteur de stockage	100	
diode gun	160	
diode impatt	180	
diode PIN	100	
Diode de redressement haute tension	85	
^a Si appliquée pour la protection contre les surtensions, le calcul peut être effectué sans tenir compte de l'échauffement propre ($\theta_{ref} = 40$ °C).		
^b Si utilisée pour la stabilisation, le calcul doit alors tenir compte de l'échauffement propre.		

Tableau 19 – Dispositifs de puissance à semi-conducteurs

Composant	θ_{ref} °C	Note
Diodes de redressement (également avec caractéristiques à avalanche)	70	–
Ponts de redressement	85	
Diodes Schottky	85	
Thyristors	85	
Triacs, diacs	85	
Dispositifs de puissance à semi-conducteurs spécialisés et personnalisés	Consulter le fabricant	

6.2.2 Facteurs de contrainte

6.2.2.1 Généralités

Les modèles de contrainte spécifiques sont fournis pour convertir les taux de défaillance entre différentes conditions. Ces modèles de contrainte comportent des constantes qui sont des valeurs moyennes pour chaque type de composant provenant de différents fabricants (ces valeurs sont déterminées lors de l'exploitation et au cours d'essais en laboratoire).

6.2.2.2 Modèles

Le taux de défaillance dans les conditions de fonctionnement est donné par les expressions suivantes, d'après l'Equation (2):

$$\lambda = \lambda_{ref} \times \pi_U \times \pi_T \quad \text{pour les transistors} \quad (13)$$

$$\lambda = \lambda_{\text{ref}} \times \pi_T \quad \text{pour les diodes}^1 \text{ et les dispositifs de puissance à semi-conducteurs}^2 \quad (14)$$

Les facteurs de contrainte traduisant l'influence de la tension et de la température sont donnés en 6.2.2.3 et 6.2.2.4 respectivement. Le courant peut aussi avoir une influence importante.

6.2.2.3 Influence de la tension pour les transistors, facteur π_U

L'influence de la tension est prise en compte uniquement pour les transistors selon l'Equation (13). Les constantes C_2 et C_3 données dans le Tableau 20 sont utilisées, à moins que d'autres valeurs ne soient indiquées. Les résultats sont présentés dans le Tableau 21.

Tableau 20 – Constantes pour l'influence de la tension pour les transistors

$U_{\text{ref}}/U_{\text{rat}}$	C_2	C_3
0,5	8,0	1,4

Tableau 21 – Facteur π_U pour les transistors

$U_{\text{op}}/U_{\text{rat}}$	$\leq 0,6$	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1
Facteur π_U	1	1,04	1,08	1,14	1,26	1,46	1,82	2,52	4

6.2.2.4 Influence de la température, facteur π_T

La relation donnée par l'Equation (5) ne s'applique qu'à des températures inférieures ou égales à la température de jonction maximale admissible. Les constantes A , E_{a1} et E_{a2} données dans le Tableau 22 sont utilisées, à moins que d'autres valeurs ne soient indiquées. Les résultats sont présentés dans les Tableaux 23 et 24.

Tableau 22 – Constantes pour l'influence de la température pour les composants discrets à semi-conducteurs

Composant	A	E_{a1} eV	E_{a2} eV
Transistors, diodes de référence et diodes pour hyperfréquences	0,9	0,3	0,7
Diodes (à l'exception des diodes de référence et diodes pour hyperfréquences) Dispositifs de puissance à semi-conducteurs ^a	1,0	0,4	–
^a Diodes de redressement, ponts de redressement, diodes Schottky, thyristors, triacs et diacs.			

Le facteur π_T est obtenu à partir des Tableaux 23 et 24 en fonction:

- de la température réelle de jonction

$$\theta_{\text{op}} = \theta_{\text{amb}} + P \times R_{\text{th,amb}} \text{ en degrés Celsius} \quad (15)$$

- de la température de jonction dans les conditions de référence (voir 6.2.1);

1 Diodes d'usage général, diodes Schottky, diodes régulatrices et diodes Zener.

2 Diodes de redressement, ponts de diodes, thyristors, triacs et diacs.

$$\theta_{\text{ref}} = 40 + \Delta T_{\text{ref}} \quad \text{en degrés Celsius} \quad (16)$$

où ΔT_{ref} est mesuré ou calculé sous la forme $\Delta T_{\text{ref}} = P_{\text{ref}} \times R_{\text{th,amb}}$.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61709:2011

θ_{ref} °C (see 6.2.1)	Facteur π_T pour θ_{op} (°C)																										
	≤25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	110	120	125	130	140	145	150	160	175	180	200
40	0,54	0,67	0,82	1	1,2	1,5	1,8	2,2	2,7	3,3	4,1	5,1	6,3	7,7	9,6	12	18	28	35	44	67	83	102	153	275	332	689
45	0,44	0,54	0,67	0,82	1	1,2	1,5	1,8	2,2	2,7	3,4	4,1	5,1	6,3	7,8	9,7	15	23	29	36	55	68	83	125	225	272	563
55	0,3	0,37	0,45	0,55	0,67	0,82	1	1,2	1,5	1,8	2,3	2,8	3,4	4,2	5,3	6,5	10	16	19	24	37	45	56	84	150	182	377
70	0,16	0,2	0,24	0,3	0,37	0,45	0,54	0,67	0,82	1	1,2	1,5	1,9	2,3	2,9	3,6	5,5	8,5	11	13	20	25	30	46	82	99	206
85	0,087	0,11	0,13	0,16	0,2	0,24	0,29	0,36	0,44	0,54	0,66	0,81	1	1,2	1,5	1,9	2,9	4,5	5,6	7	11	13	16	24	44	53	110
95	0,057	0,07	0,085	0,10	0,13	0,16	0,19	0,23	0,29	0,35	0,43	0,53	0,65	0,81	1	1,2	1,9	3	3,7	4,6	7	8,6	11	16	29	35	72
100	0,046	0,056	0,069	0,084	0,1	0,13	0,15	0,19	0,23	0,28	0,35	0,43	0,53	0,65	0,81	1	1,5	2,4	3,0	3,7	5,6	6,9	8,5	13	23	28	58
110	0,03	0,036	0,045	0,055	0,067	0,081	0,099	0,12	0,15	0,18	0,22	0,28	0,34	0,42	0,52	0,65	1	1,5	1,9	2,4	3,6	4,5	5,6	8,3	15	18	38
125	0,015	0,019	0,023	0,028	0,035	0,043	0,052	0,063	0,078	0,095	0,12	0,14	0,18	0,22	0,27	0,34	0,52	0,81	1	1,2	1,9	2,3	2,9	4,3	7,8	9,4	20
145	0,066	0,081	0,099	0,012	0,015	0,018	0,022	0,027	0,033	0,041	0,05	0,061	0,076	0,094	0,12	0,14	0,22	0,34	0,43	0,53	0,81	1	1,2	1,85	3,3	4,0	8,3
160	0,035	0,054	0,044	0,066	0,080	0,098	0,12	0,15	0,18	0,22	0,27	0,33	0,41	0,51	0,63	0,74	0,12	0,19	0,24	0,3	0,44	0,54	0,67	1	1,87	2,2	4,6
180	0,016	0,020	0,025	0,030	0,037	0,045	0,055	0,067	0,082	0,01	0,012	0,015	0,019	0,023	0,029	0,036	0,055	0,085	0,11	0,13	0,2	0,25	0,31	0,46	0,83	1	2,1

Tableau 24 – Facteur π_T pour les diodes (sauf les diodes de référence et les diodes hyperfréquences) et les dispositifs de puissance à semi-conducteurs

θ_{ref} °C (see 6.2.1)	Facteur π_T pour θ_{op} (°C)																										
	≤25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	110	120	125	130	140	145	150	160	175	180	200
40	0,47	0,61	0,79	1	1,3	1,6	2	2,4	3	3,7	4,4	5,4	6,5	7,7	9,2	11	15	20	24	27	36	41	47	61	87	98	151
55	0,24	0,31	0,4	0,51	0,64	0,80	1	1,2	1,5	1,9	2,3	2,7	3,3	3,9	4,7	5,5	7,6	10	12	14	18	21	24	31	44	50	77
70	0,13	0,17	0,21	0,27	0,35	0,43	0,54	0,67	0,82	1	1,2	1,5	1,8	2,1	2,5	3,0	4,1	5,6	6,5	7,5	9,9	11,3	13	17	24	27	41
85	0,07 4	0,09 5	0,12	0,16	0,2	0,25	0,31	0,38	0,46	0,57	0,69	0,83	1	1,2	1,4	1,7	2,3	3,2	3,7	4,3	5,6	6,4	7,3	9,5	14	15	23
100	0,04 4	0,05 6	0,07 2	0,09 2	0,12	0,15	0,18	0,22	0,28	0,34	0,41	0,49	0,59	0,71	0,84	1	1,4	1,9	2,2	2,5	3,3	3,8	4,4	5,6	8,0	9,0	14

6.3 Composants optoélectroniques

6.3.1 Conditions de référence

Les recommandations suivantes applicables aux températures de référence données dans les Tableaux 25 à 29 sont fondées sur une température ambiante de composant de 40 °C et correspondent à la plupart des applications de composants dans des équipements.

L'échauffement propre de référence, $\Delta T_{\text{ref}} = P_{\text{ref}} \times R_{\text{th,amb}}$, doit être indiqué lorsque des températures de référence autres que celles indiquées dans les tableaux sont utilisées.

Lorsqu'un taux de défaillance est spécifié pour une température ambiante de 40 °C, la puissance dissipée de référence, P_{ref} , et la résistance thermique, $R_{\text{th,amb}}$, vers l'environnement pour lequel cette valeur s'applique doivent également être indiquées.

Pour les composants optoélectroniques, deux résistances thermiques sont généralement prises en considération: l'une étant située entre la jonction et le boîtier, l'autre entre le boîtier et le milieu environnant. Il convient que la résistance thermique, $R_{\text{th,amb}}$, mentionnée ci-dessus soit la résistance la plus significative dans l'application considérée.

Tableau 25 – Récepteurs de signaux optoélectroniques à semi-conducteurs

Composant	Température de jonction de référence θ_{ref} °C	Note
Phototransistor plastique et à boîtier hermétique	45	– $U_{\text{ref}}/U_{\text{rat}} = 0,5$
Photodiode (Si et Si PIN, InP, Inp APD, Ge, Ge APD)	45	
Photo-élément	45	
Module détecteur	40	
Composant solaire	40	

Tableau 26 – DEL (diodes électroluminescentes), IRED (infrarouge), diodes laser et composants d'émetteurs

Composant	Température de jonction de référence θ_{ref} °C	Note
DEL (diode électroluminescente) en lumière visible (radiale et SMT, dispositifs de puissance de grande taille (>100mA CC))	45	– $I_{\text{ref}}/I_{\text{rat}} = 0,5$
IRED (infrarouge) DEL ((Al)GaAs, InP)	75	
Diode laser (GaAs 880 nm, InP 1300 nm, InP 1500 nm)	75	–
Réseau de diodes laser, laser à pompe / laser à pompe refroidi (GaAs 980 nm, InP 1 480 nm)	45	
Modules émetteurs à laser	Consulter le fabricant	
Ecrans (DEL)	55	
Ecrans (à cristaux liquides, électroluminescence)	Consulter le fabricant	
Amplificateur optique à semi-conducteur (SOA)	45	

Composant	Température de jonction de référence θ_{ref} °C	Note
Fibre (EDFA)	Consulter le fabricant	
Modulateurs (InP, LiNbO ₃)	40	

Tableau 27 – Photocoupleurs et barrières photo-électriques

Composant	Température de jonction de référence θ_{ref} °C	Note
Photocoupleur	avec sortie bipolaire	55
	avec sortie FET	65
	avec électronique ultérieure	55
	avec électronique de puissance ultérieure	65
Barrière photo-électrique	avec sortie de diode / transistor	55
	avec électronique ultérieure	55

Tableau 28 – Composants optiques passifs

Composant	Température de jonction de référence θ_{ref} °C	Note
Connecteur à guide d'onde optique (ordre n)	40	–
Fibre amorce (un pilote et un connecteur)	40	
Fibre	40	Aucune influence de la température à prendre en compte
Fibre de compensation de dispersion (DCF)	40	
Isolateurs	40	
Circulateurs	40	
Multiplexeur optique, démultiplexeur optique (couche mince, réseau sélectif planaire (AWG))	40	
Atténuateurs optiques (valeur fixe, électromécanique)	40	
Commutateur (électromagnétique, MEM)	40	
Coupleur, séparateur, filtre (couche mince, Bragg)	40	

Tableau 29 – Emetteur-récepteur, transpondeur et sous-équipement optique

Composant		Température de jonction de référence θ_{ref} °C	Note
Emetteur-récepteur, Transpondeur	SFF, SFP	40	—
	Xpondeur / longue distance, accordable	Consulter le fabricant	
Analyseur de spectre optique (OPA, complexe / OSA, complexe)			
Compensateur à dispersion active			
Commutateur sélectif de longueur d'onde			
Dispositif de blocage de longueur d'onde			
Courant de fuite à la terre (GTC) (électromécanique)		40	Aucune influence de la température à prendre en compte

6.3.2 Facteurs de contrainte

6.3.2.1 Généralités

Les modèles de contrainte spécifiques sont fournis pour convertir les taux de défaillance entre différentes conditions. Ces modèles de contrainte comportent des constantes. Celles-ci sont des valeurs moyennes pour chaque type de composant provenant de différents fabricants (ces valeurs sont déterminées lors de l'exploitation et au cours d'essais en laboratoire).

6.3.2.2 Modèles

Le taux de défaillance dans les conditions de fonctionnement est donné par les expressions suivantes, d'après l'Equation (2):

$$\lambda = \lambda_{ref} \times \pi_U \times \pi_T \quad \text{pour les phototransistors} \quad (17)$$

$$\lambda = \lambda_{ref} \times \pi_T \quad \text{pour les autres récepteurs de signaux optiques à semi-conducteurs, photocoupleurs et barrières photoélectriques, connecteurs à guide d'onde optique, fibres amorcees, émetteurs-récepteurs, transpondeurs} \quad (18)$$

$$\lambda = \lambda_{ref} \times \pi_I \times \pi_T \quad \text{pour les diodes électroluminescentes (DEL) et diodes infrarouge (IRED)} \quad (19)$$

$$\lambda = \lambda_{ref} \quad \text{pour les autres composants optiques} \quad (20)$$

Les facteurs de contrainte pour l'influence de la tension, du courant et de la température sont donnés de 6.3.2.3 à 6.3.2.5.

6.3.2.3 Influence de la tension, facteur π_U

L'influence de la tension est prise en compte uniquement pour les phototransistors, selon l'Equation (17). Les constantes C_2 et C_3 données dans le Tableau 30 sont utilisées, à moins que d'autres valeurs ne soient indiquées. Les résultats sont présentés dans le Tableau 31.

Tableau 30 – Constantes pour l'influence de la tension sur les phototransistors

$\frac{U_{ref}}{U_{rat}}$	C_2	C_3
0,5	8,0	1,4

Tableau 31 – Facteur π_U pour les phototransistors

$\frac{U_{ref}}{U_{rat}}$	$\leq 0,6$	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1
Facteur π_U	1	1,04	1,08	1,14	1,26	1,46	1,82	2,52	4

6.3.2.4 Influence du courant, facteur π_I

L'influence du courant est prise en compte uniquement pour les diodes électroluminescentes (DEL) et infrarouge (IRED), selon l'Equation (19). Les constantes C_4 et C_5 données dans le Tableau 32 sont utilisées, à moins que d'autres valeurs ne soient indiquées. Les résultats sont présentés dans le Tableau 33.

Tableau 32 – Constantes pour l'influence du courant sur les DEL et IRED

$\frac{I_{ref}}{I_{rat}}$	C_4	C_5
0,5	1,4	8,0

Tableau 33 – Facteur π_I pour les DEL et les IRED

$\frac{I_{op}}{I_{rat}}$	$\leq 0,6$	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1
Facteur π_I	1	1,04	1,08	1,14	1,26	1,46	1,82	2,52	4

6.3.2.5 Influence de la température, facteur π_T

La relation donnée par l'Equation (5) ne s'applique qu'à des températures inférieures ou égales à la température de jonction maximale admissible. Les valeurs de la constante E_{a1} données dans le Tableau 34 sont utilisées, à moins que d'autres valeurs ne soient indiquées. Les résultats sont présentés dans le Tableau 35.

Tableau 34 – Constantes pour l'influence de la température sur les composants optoélectroniques

Composant	E_{a1} eV
Récepteur de signaux optiques à semi-conducteurs	Si
	InP
	Ge
Diodes électroluminescentes (DEL)	0,65
Diodes infrarouge (IRED)	(Al)GaAs

	θ_{ref} °C	Facteur π_T pour θ_{op} (°C)															
		≤ 25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
	55	0,17	0,23	0,32	0,43	0,57	0,76	1	1,3	1,7	2,2	2,8	3,5	4,4	5,5	6,8	8,5
	65	0,1	0,14	0,19	0,25	0,34	0,45	0,59	0,77	1	1,3	1,6	2,07	2,6	3,3	4,05	5,01
Connecteur à guide d'onde optique; fibre amorce; modulateurs; commutateur sélectif de longueur d'onde; dispositif de blocage de longueur d'onde																	
	θ_{ref} °C	Facteur π_T pour θ_{op} (°C)															
		≤ 25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
	40	0,57	0,69	0,83	1	1,2	1,4	1,7	2	2,3	2,6	3,1	3,5	4	4,6	5,3	6
Emetteur-récepteur, transpondeur																	
	θ_{ref} °C	Facteur π_T pour θ_{op} (°C)															
		≤ 25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
	40	0,47	0,61	0,79	1	1,3	1,6	2	2,4	3	3,7	4,4	5,4	6,5	7,7	9,2	11

6.4 Condensateurs

6.4.1 Conditions de référence

Les recommandations applicables aux températures de référence données dans le Tableau 36 sont fondées sur une température ambiante de composant de 40 °C et correspondent à la plupart des applications de composants dans des équipements.

Tableau 36 – Condensateurs

Type de condensateur	Température de référence des condensateurs θ_{ref} °C	Note
Feuille métallique Polystyrol, polypropylène, polycarbonate, polyéthylène téréphtalate	40	50 % de la tension assignée à 40 °C $U_{ref} / U_{rat} = 0,5$
Film métallisé Polypropylène, polycarbonate, polyéthylène téréphtalate, acétate de cellulose		
Papier métallisé (film)		
Mica		
Verre		
Acétate de cellulose		
Céramique		
Electrolytique au tantale – électrolyte liquide – électrolyte solide		
Electrolytique à l'aluminium – électrolyte liquide – électrolyte solide	40	80 % de la tension assignée à 40 °C $U_{ref} / U_{rat} = 0,8$
Variable	40	–

6.4.2 Facteurs de contrainte

6.4.2.1 Modèle

Le taux de défaillance dans les conditions de fonctionnement est donné par l'expression suivante, d'après l'Equation (2):

$$\lambda = \lambda_{\text{ref}} \times \pi_U \times \pi_T^3 \quad (23)$$

Les facteurs de contrainte traduisant l'influence de la tension et de la température sont donnés en 6.4.2.2 et 6.4.2.3.

6.4.2.2 Influence de la tension, facteur π_U

L'influence de la tension est prise en compte uniquement pour les condensateurs fixes, selon l'Equation (23).

Pour les condensateurs variables, $\pi_U = 1$.

Les constantes C_2 et C_3 données dans le Tableau 37 sont utilisées, à moins que d'autres valeurs ne soient indiquées. Les résultats sont présentés dans le Tableau 38.

Tableau 37 – Constantes pour l'influence de la tension sur les condensateurs

Type de condensateur	$\frac{U_{\text{ref}}}{U_{\text{rat}}}$	C_2	C_3
Papier, papier métallisé Film de polypropylène métallisé Film de polytéréphtalate d'éthylène métallisé Film d'acétate de cellulose métallisé	0,5	1,07	3,45
Film de polycarbonate à armatures à feuilles métalliques Film de polycarbonate métallisé	0,5	1,50	4,56
Film de polystyrène Film de polytéréphtalate d'éthylène à armatures à feuilles métalliques Film de polypropylène, à armatures à feuilles métalliques	0,5	1,29	4,0
Verre	0,5	1,11	4,33
Mica	0,5	1,12	2,98
Céramique	0,5	1,0	4,0
Electrolytique à l'aluminium, électrolyte liquide	0,8	1,0	1,36
Electrolytique à l'aluminium, électrolyte solide	0,8	1,9	3,0
Electrolytique au tantale, électrolyte liquide	0,5	1,0	1,05
Electrolytique au tantale, électrolyte solide	0,5	1,04	9,8

³ Aluminium electrolytic components with non-solid electrolyte are electrochemical components with an especially wide technology range. Therefore the given constants and factors are just estimates of the values. More specific values may be given in the relevant component specifications or may be agreed upon between user and manufacturer.

Tableau 38 – Facteur π_U pour les condensateurs

Type de condensateur	Facteur π_U pour U_{op}/U_{rat}									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Papier, papier métallisé Film de polypropylène métallisé Film de polytéréphtalate d'éthylène métallisé Film d'acétate de cellulose métallisé	0,26	0,36	0,50	0,71	1,0	1,40	2,0	2,9	4,2	6,1
Film de polycarbonate à armatures à feuilles métalliques Film de polycarbonate métallisé	0,23	0,30	0,42	0,63	1,0	1,7	2,9	5,2	9,8	19
Film de polystyrène Film de polytéréphtalate d'éthylène à armatures à feuilles métalliques Film de polypropylène, à armatures à feuilles métalliques	0,24	0,32	0,45	0,66	1,0	1,5	2,4	3,9	6,4	11
Verre	0,19	0,28	0,42	0,64	1,0	1,6	2,5	4,0	6,3	10
Mica	0,32	0,42	0,55	0,74	1,0	1,4	1,9	2,6	3,6	5
Céramique	0,20	0,30	0,45	0,67	1,0	1,5	2,2	3,3	5,0	7,4
Electrolytique à l'aluminium, électrolyte liquide	0,39	0,44	0,51	0,58	0,67	0,76	0,87	1,0	1,2	1,3
Electrolytique à l'aluminium, électrolyte solide	0,15	0,16	0,19	0,24	0,31	0,44	0,64	1,0	1,6	2,8
Electrolytique au tantale, électrolyte liquide	0,66	0,73	0,81	0,90	1,0	1,1	1,2	1,4	1,5	1,7
Electrolytique au tantale, électrolyte solide	0,021	0,054	0,14	0,37	1,0	2,7	7,4	20	56	154

6.4.2.3 Influence de la température, facteur π_T

La relation donnée par l'Equation (6) ne s'applique qu'à des températures inférieures ou égales à la température de composant maximale admissible. Les constantes A , E_{a1} et E_{a2} données dans le Tableau 39 sont utilisées, à moins que d'autres valeurs ne soient indiquées. Les résultats sont présentés dans le Tableau 40.

Tableau 39 – Constantes pour l'influence de la température sur les condensateurs

Type de condensateur	A	E_{a1} eV	E_{a2} eV
Papier Papier métallisé Film de polypropylène métallisé Film de polytéréphtalate d'éthylène métallisé Film d'acétate de cellulose métallisé Film de polytéréphtalate d'éthylène à armatures à feuilles métalliques Film de polypropylène à armatures à feuilles métalliques Film de polystyrène à armatures à feuilles métalliques Film de papier métallisé	0,999	0,5	1,59
Film de polycarbonate à armatures à feuilles métalliques Film de polycarbonate métallisé	0,998	0,57	1,63
Verre, mica	0,86	0,27	0,84
Céramique	1,0	0,35	–
Electrolytique à l'aluminium, électrolyte liquide	0,87	0,5	0,95
Electrolytique à l'aluminium, électrolyte solide	0,40	0,14	0
Electrolytique au tantale, électrolyte liquide	0,35	0,54	0

Type de condensateur	A	Ea_1 eV	Ea_2 eV
Electrolytique au tantale, électrolyte solide	0,961	0,27	1,1
Variable	1,0	0,15	–

Le facteur π_T est obtenu à partir du Tableau 40 en fonction:

- de la température réelle du condensateur

$$\theta_{op} = \theta_{amb} + \Delta T \quad \text{en degrés Celsius} \quad (23)$$

où ΔT est la variation de température due aux conditions de fonctionnement;

- et de la température du condensateur dans les conditions de référence (voir Tableau 36)

$$\theta_{ref} = 40^\circ\text{C} \quad \text{en degrés Celsius} \quad (24)$$

Tableau 40 – Facteur π_T pour les condensateurs

Type de condensateur	Température du condensateur dans les conditions de référence θ_{ref} °C	Facteur π_T pour θ_{op} (°C) ^{1)a}													
		≤ 20	30	40	50	60	70	80	85	90	100	105	110	120	125
Papier Papier métallisé Film de polypropylène métallisé Film de polytéraphthalate d'éthylène métallisé Film d'acétate de cellulose métallisé Film de polytéraphthalate d'éthylène à armatures à feuilles métalliques Film de polypropylène à armatures à feuilles métalliques Film de polystyrène à armatures à feuilles métalliques Film de papier métallisé	40	0,28	0,54	1,0	1,8	3,1	5,2	9	12	16	33	49	77	210	350
Film de polycarbonate à armatures à feuilles métalliques Film de polycarbonate métallisé	40	0,24	0,50	1,0	1,9	3,6	6,7	13	18	27	63	100	170	510	900
Verre, mica	40	0,45	0,67	1,0	1,5	2,5	4,2	7,5	10	–	–	–	–	–	–
Céramique	40	0,41	0,65	1,0	1,5	2,2	3,1	4,4	5,1	6	8,1	9,3	11	14	16
Electrolytique à l'aluminium, électrolyte liquide	40	0,26	0,51	1,0	1,9	3,7	7,2	14	20	28	55	77	110	210	290
Electrolytique à l'aluminium, électrolyte solide	40	0,88	0,94	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,6	1,8	1,8

Type de condensateur	Température du condensateur dans les conditions de référence θ_{ref} °C	Facteur π_T pour θ_{op} (°C) ^{1)a}													
		≤ 20	30	40	50	60	70	80	85	90	100	105	110	120	125
Electrolytique au tantale, électrolyte liquide	40	0,74	0,83	1,0	1,3	1,8	2,7	4	5	–	–	–	–	–	–
Electrolytique au tantale, électrolyte solide	40	0,49	0,7	1,0	1,45	2,2	3,7	7	10	15	32	49	73	170	250
Variable	40	0,68	0,83	1,0	1,2	1,4	1,6	1,9	2	2,2	2,5	2,6	2,8	3,1	3,3

^a Les relations indiquées s'appliquent uniquement à des températures inférieures ou égales à la température assignée du condensateur.

6.5 Résistances et réseaux résistifs

6.5.1 Conditions de référence

Les recommandations applicables aux températures de référence de l'élément résistif données dans le Tableau 41 sont fondées sur une température ambiante de composant de 40 °C et correspondent à la plupart des applications de composants dans des équipements. L'échauffement propre de référence, ΔT_{ref} , doit être indiqué lorsque d'autres températures de référence sont utilisées.

Tableau 41 – Résistances et réseaux résistifs

Composant	Température de référence de l'élément résistif θ_{ref} °C	Note
Couche de carbone	55	50 % de la puissance assignée à 40 °C $P_{ref}/P_{rat} = 0,5$
Film métallique	55	
Réseaux (circuits de film) par élément résistif	55	
Oxyde métallique	85	
Bobinage	85	
Variable	55	

6.5.2 Facteurs de contrainte

6.5.2.1 Modèle

Le taux de défaillance dans les conditions de fonctionnement est donné par l'expression suivante, d'après l'Equation (2):

$$\lambda = \lambda_{ref} \times \pi_T \quad (25)$$

Les facteurs de contrainte pour l'influence de la température sont donnés en 6.5.2.2.

6.5.2.2 Influence de la température, facteur π_T

La relation donnée par l'Equation (6) ne s'applique qu'à des températures inférieures ou égales à la température de l'élément résistif maximale admissible. Les constantes A , E_{a1} et E_{a2} données dans le Tableau 42 sont utilisées, à moins que d'autres valeurs ne soient indiquées. Les résultats sont présentés dans le Tableau 43.

Tableau 42 – Constantes pour l'influence de la température sur les éléments résistifs

A	E_{a1} eV	E_{a2} eV
0,873	0,16	0,44

Le facteur π_T est obtenu à partir du Tableau 43 en fonction :

- de la température moyenne réelle de l'élément résistif

$$\theta_{op} = \theta_{amb} + \Delta T \quad \text{en degrés Celsius} \quad (26)$$

où $\Delta T = P \times R_{th,amb} = (\theta_{max} - 40) \times (P/P_{rat})$, est la variation de température, en degrés Celsius, due au fonctionnement (avec θ_{max} comme température maximale de l'élément résistif);

- et de la température moyenne de l'élément résistif dans les conditions de référence (voir Tableau 41);

$$\theta_{ref} = 40 + \Delta T_{ref} \quad \text{en degrés Celsius} \quad (28)$$

Tableau 43 – Facteur π_T pour les éléments résistifs

Composant	θ_{ref} °C (voir 6.5.1)	Facteur π_T pour θ_{op} (°C)											
		≤ 25	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	125
Résistances	55	0,49	0,56	0,71	0,89	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6	4,6	5,1
	85	0,25	0,28	0,35	0,45	0,56	0,71	0,89	1,1	1,4	1,8	2,3	2,6

6.6 Inductances, transformateurs et bobinages

6.6.1 Conditions de référence

Les recommandations applicables aux températures de référence données dans le Tableau 44 sont fondées sur une température ambiante de composant de 40 °C et correspondent à la plupart des applications de composants dans des équipements. L'échauffement propre de référence, ΔT_{ref} , doit être indiqué lorsque d'autres températures de référence sont utilisées.

Tableau 44 – Inductances, transformateurs, bobinages

Composant		Température de référence moyenne de bobinage θ_{ref} °C	Note
Inductances pour applications CEM	$\leq 3\text{A}$ $> 3\text{A}$	60 85	50 % de la puissance assignée à 40 °C $P_{\text{ref}} / P_{\text{rat}} = 0,5$
Inductances et transformateurs basse fréquence	$\leq 25\text{ kHz}$	55	
Inductances et transformateurs haute fréquence	$> 25\text{ kHz}$	55	
Transformateurs secteur et transformateurs pour alimentations à mode commuté		85	

6.6.2 Facteurs de contrainte**6.6.2.1 Modèle**

Le taux de défaillance dans les conditions de fonctionnement est donné par l'expression suivante, d'après l'Equation (2):

$$\lambda = \lambda_{\text{ref}} \times \pi_T \quad (27)$$

Les facteurs de contrainte pour l'influence de la température sont donnés en 6.6.2.2.

6.6.2.2 Influence de la température, facteur π_T

La relation donnée par l'Equation (6) ne s'applique qu'à des températures inférieures ou égales à la température de bobinage maximale admissible. Les constantes A , E_{a1} et E_{a2} données dans le Tableau 45 sont utilisées, à moins que d'autres valeurs ne soient indiquées. Les résultats sont présentés dans le Tableau 46.

Tableau 45 – Constantes pour l'influence de la température sur les inductances, transformateurs et bobinages

A	E_{a1} eV	E_{a2} eV
0,996	0,06	1,13

Le facteur π_T est obtenu à partir du Tableau 46 en fonction:

- de la température moyenne réelle de bobinage

$$\theta_{\text{op}} = \theta_{\text{amb}} + \Delta T \quad \text{en degrés Celsius} \quad (30)$$

où ΔT est la variation de température due aux conditions de fonctionnement;

- et de la température moyenne de bobinage dans les conditions de référence (voir Tableau 44);

$$\theta_{\text{ref}} = 40 + \Delta T_{\text{ref}} \quad \text{en degrés Celsius} \quad (31)$$

où ΔT_{ref} est mesuré ou calculé à $0,5 \times P_{\text{rat}}$.

Tableau 46 – Facteur π_T pour les inductances, les transformateurs et les bobinages

Composant	θ_{ref} °C (voir 6.6.1)	Facteur π_T pour θ_{op} (°C)												
		≤ 25	30	40	50	60	70	80	85	90	100	110	120	125
Inductances, transformateurs, bobinages	55	0,79	0,82	0,89	0,96	1,1	1,2	1,5	1,9	2,3	4,3	8,8	19	29
	60	0,75	0,78	0,84	0,91	1	1,1	1,5	1,8	2,2	4	8,4	18	27
	85	0,43	0,44	0,48	0,52	0,57	0,66	0,83	1	1,3	2,3	4,8	10	15

6.7 Dispositifs pour hyperfréquences

6.7.1 Conditions de référence

Les conditions de référence sont indiquées dans le Tableau 47.

Tableau 47 – Dispositifs pour hyperfréquences

Composant	Température de référence du composant θ_{ref} °C	Note
Eléments pour hyperfréquences	40	Aucune incidence de la température et des contraintes électriques sur les taux de défaillance
Guides coaxiaux et guides d'ondes		
Charge		
Atténuateur fixe		
Atténuateur variable		
Eléments fixes		
Coupleurs directifs		
Embases fixes		
Cavités		
Eléments variables		
Embases accordées	40	
Cavités accordées		
Dispositif ferritique (émetteur)		
Dispositif ferritique (récepteur)		
Composants passifs à fréquences radioélectriques/pour hyperfréquences		
Filtre		
Isolateur		
Circulateur		
Séparateur/combinateur		
Synthétiseur		

6.7.2 Facteurs de contrainte

L'application réelle des contraintes de température et électriques n'a produit jusqu'à présent aucune valeur.

6.8 Autres composants passifs

6.8.1 Conditions de référence

Les conditions de référence sont indiquées dans le Tableau 48.

Tableau 48 – Autres composants passifs

Composant	Température de référence du composant θ_{ref} °C	Note
Varistances	40	Aucune incidence de la température et des contraintes électriques sur les taux de défaillance.
Thermistances à coefficient de température positif, thermistances à coefficient de température négatif		
Parafoudres		
Résonateurs céramiques		
Filtres		
Filtres d'ondes de surface (SAW), oscillateurs d'ondes de surface (oscillateurs SAW), oscillateurs à tension asservie (VCO)		
Composants piézoélectriques (transducteurs et capteurs)		
Quartz		
Oscillateurs à quartz: XO (horloge), VCXO (à tension asservie), TCXO (à compensation de température), OCXO (thermostaté)		
Condensateurs de traversée, filtres de traversée		
Fusibles		

6.8.2 Facteurs de contrainte

L'application réelle des contraintes de température et électriques n'a produit jusqu'à présent aucune valeur.

6.9 Connexions électriques

6.9.1 Conditions de référence

Les conditions de référence sont indiquées dans le Tableau 49.

Tableau 49 – Connexions électriques

Composant	Section de conducteur mm ²	θ_{ref} °C	Note
Brasure (manuelle, mécanique)	–	40	50 % du courant assigné pour le conducteur connecté $I_{ref} / I_{rat} = 0,5$
Soudure de fils pour circuits hybrides (Al, Au)	–		
Connexion wrappée	0,05 à 0,5		
Sertissage (manuelle, mécanique)	0,05 à 300		
Fusion par point	0,1 à 0,5		
Compression	0,3 à 2		
Dénudage	0,05 à 1		
Vis	0,5 à 16		
Pince (force élastique)	0,5 à 16		

6.9.2 Facteurs de contrainte

L'application réelle des contraintes de température et électriques n'a produit jusqu'à présent aucune valeur.

6.10 Connecteurs et supports

6.10.1 Conditions de référence

Les conditions de référence sont indiquées dans le Tableau 50.

Tableau 50 – Connecteurs et supports

Composant	θ_{ref} °C	Note
Contacts enfichables qui doivent être insérés sans charge électrique (or ou matière anticorrosive comparable, argent, étain, autres) NOTE Ces composants incluent également les connecteurs qui peuvent être insérés avec une charge électrique limitée selon la fiche technique.	40	Courant de fonctionnement compris dans les limites indiquées sur la fiche technique
Contacts enfichables destinés à être insérés sous une charge électrique		
Fiches coaxiales		
Durée:	période limitée par la durée de vie atteinte par 90 % des composants.	
Cycle de service:	pour les contraintes électriques, le cycle de service est en état de fonctionnement permanent ou intermittent.	
Fréquence d'enfichage:	≤ 1 cycle de branchement pour 1 000 h.	

6.10.2 Facteurs de contrainte

L'application réelle des contraintes de température et électriques n'a produit jusqu'à présent aucune valeur.

6.11 Relais

6.11.1 Conditions de référence

Les conditions de référence sont indiquées dans le Tableau 51.

Tableau 51 – Relais

Composant	Contrainte électrique sur les contacts	θ_{ref} °C	Note
Relais pour service de courte durée:	($0,5 < U \leq U_{rat}$) Vc.a. et ($0 < I \leq 0,1$) A par l'application d'une charge résistive	40	Courant de fonctionnement compris dans les limites indiquées sur la fiche technique. Contrainte électrique sur les contacts (voir les zones de contrainte en Figure 1)
Relais d'usage général:	($0 < U \leq 13$) V et ($0,1 < I \leq I_{rat}$) A par l'application d'une charge résistive et c.a.		
Relais pour l'automobile:	($0 < U \leq 13$) V et ($0,1 < I \leq I_{rat}$) A par l'application d'une charge résistive		
Durée:	période limitée par la durée de vie atteinte par 90 % des relais.		
Cycle de service:	il peut être choisi dans les limites de la spécification du relais (pour bobine et assemblage de contacts).		
Cycles de fonctionnement:	dans les limites du nombre maximal de cycles de fonctionnement spécifié sur la fiche technique.		

6.11.2 Facteurs de contrainte

6.11.2.1 Modèle

Le taux de défaillance, dans les conditions de fonctionnement, est:

$$\lambda = \lambda_{\text{ref}} \times \pi_{\text{ES}} \times \pi_{\text{S}} \times \pi_{\text{T}} \quad (28)$$

où

π_{ES} est le facteur traduisant l'influence des contraintes électriques;

π_{S} est le facteur traduisant l'influence de la fréquence de manœuvre;

π_{T} est le facteur traduisant l'influence de la température.

Les valeurs des facteurs de contrainte sont données en 6.11.2.3 et 6.11.2.4.

6.11.2.2 Influence de la fréquence de manœuvre, facteur π_{S}

Ce facteur prend en compte le nombre de cycles de fonctionnement par heure, S . Selon les Equations (7) et (8):

$$\pi_{\text{S}} = 1 \text{ for } S \leq 1$$

$$\pi_{\text{S}} = S \text{ for } S > 1$$

6.11.2.3 Influence des contraintes électriques, facteur π_{ES}

Les facteurs π_{ES} donnés dans les Tableaux 52 à 54 sont basés sur le choix de la zone de contrainte spécifiée à la Figure 1 et du type de charge.

Les contacts qui comportent un ou plusieurs surtenseurs peuvent être traités comme des contacts soumis à une charge résistive.

On trouve les valeurs du courant assigné I_{rat} et de la tension assignée de contact U_{rat} dans la spécification particulière de chacun des types de relais.

Si des conditions de contraintes électriques différentes sont utilisées, il convient de prendre en compte un profil de contrainte (sinon, il convient d'appliquer le facteur de contrainte le plus élevé).

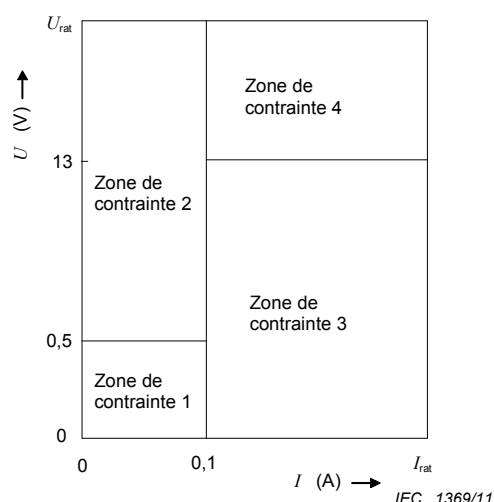


Figure 1 – Choix des zones de contrainte conformément aux conditions de fonctionnement du courant et de la tension

Tableau 52 – Facteur π_{ES} pour les relais à faible courant

Zone de contrainte (voir Figure 1)	Facteur π_{ES} pour:		
	Charge résistive	Charge capacitive ^a et charge de lampe à incandescence	Charge inductive
1	2	2	–
2	1	8	8
3	2	20	40
4	8	40	–

^a Le courant de crête maximal ne doit pas être dépassé (voir spécification particulière du relais).

Tableau 53 – Facteur π_{ES} pour relais d'usage général

Zone de contrainte (voir Figure 1)	Facteur π_{ES} pour:					
	Charge résistive		Charge capacitive ^a et charge de lampe à incandescence		Charge inductive	
	Courant continu	Courant alternatif	Courant continu	Courant alternatif	Courant continu	Courant alternatif
1 Sans revêtement d'or	50	50	2	1	–	–
Avec revêtement d'or	20	10	2	1	–	–
2	20	10	10	5	10	5
3	2	1	10	5	20	10
4	10	2	10	5	50	20

^a Le courant de crête maximal ne doit pas être dépassé (voir spécification particulière du relais).

Tableau 54 – Facteur π_{ES} pour les relais pour l'automobile

Zone de contrainte (voir Figure 1)	Facteur π_{ES} ^a pour:		
	Charge résistive	Charge capacitive ^b et charge de lampe à incandescence	Charge inductive
3	1	2 (1)	2 (1)
4	1	2 (1)	5 (1)

^a Les valeurs entre parenthèses sont applicables aux pré-contacts en tungstène.
^b Le courant de crête maximal ne doit pas être dépassé (voir spécification particulière du relais).

6.11.2.4 Influence de la température, facteur π_T

Les relations données par les Equations (5) et (6) ne s'appliquent qu'à des températures inférieures ou égales à la température de composant maximale admissible. Les constantes de formule A , E_{a1} et E_{a2} données dans le Tableau 55 sont utilisées, à moins que d'autres valeurs ne soient indiquées.

Tableau 55 – Constantes pour l'influence de la température sur les relais

Matériau d'assemblage des contacts	A	E_{a1} eV	E_{a2} eV
Plastique	1,0	0,175	–
Métal, verre, céramique	0,006	0,646	0

Les facteurs calculés π_T sont présentés dans le Tableau 56 et dépendent de la température ambiante, θ_{amb} .

Tableau 56 – Facteur π_T pour les relais

Matériau d'assemblage des contacts	Facteur π_T pour la température ambiante moyenne θ_{amb} ^a			
	≤ 40 °C	70 °C	100 °C	125 °C
Plastique	1	1,8	2,8	4
Métal, verre, céramique	1	1	1,3	2

^a Ne s'applique qu'à des températures inférieures ou égales à la température ambiante maximale admissible selon la spécification particulière du relais.

6.12 Commutateurs et boutons-poussoirs

6.12.1 Conditions de référence

Les conditions de référence sont indiquées dans le Tableau 57.

Tableau 57 – Commutateurs et boutons-poussoirs

Composant	Contraintes électriques sur les contacts	θ_{ref} °C	Note
Commutateurs pour circuits imprimés ("Dip Fix") et commutateurs de codage:	Dans les limites de la fiche technique	–	Courant de fonctionnement compris dans les limites indiquées sur la fiche technique Contraintes électriques sur les contacts (voir les zones de contrainte en 7.12.2, Figure 2)
Commutateurs et boutons-poussoirs pour les applications à photocourant:	$(0,5 < U \leq U_{ref})$ V c.a. et $(0,1 < I \leq I_{ref})$ A par l'application d'une charge résistive		
Commutateurs et boutons-poussoirs pour une charge plus élevée:	$(0,5 < U \leq 13)$ V et $(0,1 < I \leq I_{ref})$ A par l'application d'une charge résistive		
Durée:	Période limitée par la durée de vie atteinte par 90 % des commutateurs et des boutons-poussoirs.		
Cycle de service:	Il peut être choisi dans les limites de la spécification.		

6.12.2 Facteurs de contrainte

6.12.2.1 Modèle

Le taux de défaillance, dans les conditions de fonctionnement, est:

$$\lambda = \lambda_{ref} \times \pi_{ES} \quad (29)$$

où π_{ES} est le facteur traduisant l'influence des contraintes électriques. Les valeurs des facteurs de contrainte sont données en 6.12.2.2.

a) pour les commutateurs pour circuits imprimés «DIP-FIX», les commutateurs de codage et les boutons poussoirs à membrane:

$$\pi_{\text{FS}} = 1$$

b) Pour les autres commutateurs et boutons-poussoirs:

Les facteurs π_{ES} donnés dans les Tableaux 58 et 59 sont basés sur le choix de la zone de contrainte spécifiée à la Figure 2 et du type de charge.

On trouve le courant assigné I_{rat} et la tension assignée de contact U_{rat} dans la fiche technique de chacun des types de commutateurs et boutons-poussoirs.

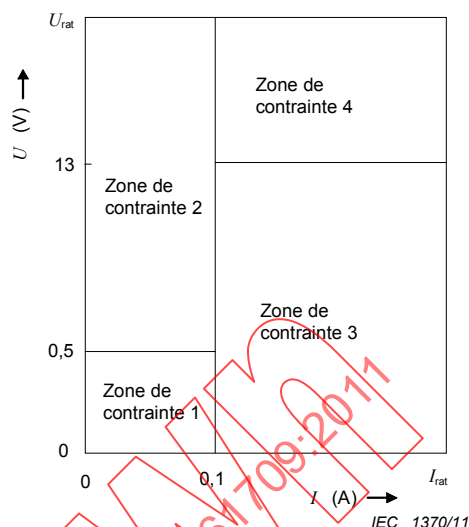


Figure 2 – Choix des zones de contrainte conformément aux conditions de fonctionnement du courant et de la tension

Tableau 58 – Facteur π_{ES} pour les commutateurs et boutons-poussoirs pour faibles contraintes électriques

Zone de contrainte (voir Figure 2)	Facteur π_{ES} pour:		
	Charge résistive	Charge capacitive ^a et charge de lampe à incandescence	Charge inductive
1	2	2	–
2	1	8	8
3	2	20	40
4	8	40	–

^a Le courant de crête maximal ne doit pas être dépassé (voir fiche technique).

Tableau 59 – Facteur π_{ES} pour les commutateurs et boutons-poussoirs pour contraintes électriques plus élevées

Zone de contrainte (voir Figure 2)	Facteur π_{ES} pour:					
	Charge résistive		Charge capacitive ^a et charge de lampe à incandescence		Charge inductive	
	Courant continu	Courant alternatif	Courant continu	Courant alternatif	Courant continu	Courant alternatif
1 Sans revêtement d'or	50	50	2	1	–	–
Avec revêtement d'or	20	10	2	1	–	–
2	20	10	10	5	10	5
3	2	1	10	5	20	10
4	10	2	10	5	50	20

^a Le courant de crête maximal ne doit pas être dépassé (voir fiche technique).

Annexe A (normative)

Modes de défaillance des composants

Le mode de défaillance définit les éléments qui constituent la défaillance d'un type de composant particulier. Il existe généralement trois types de défaillance, à savoir complète, partielle et dérive. Toutefois, la plupart des recueils de données ne font pas cette distinction, ce qui produit un taux de défaillance total d'un composant qui représente une défaillance quel que soit le mode.

Les informations relatives aux modes de défaillance sont toutefois utiles dans la mesure où la fréquence des modes de défaillance constitue l'élément observé. Ces informations sont également utiles pour une analyse de fiabilité, telle que la couverture de diagnostic, et une analyse de sécurité afin de calculer la criticité des systèmes.

La présente annexe donne des informations détaillées sur les modes de défaillance simplifiés utiles à cette fin. Ces modes simplifiés constituent un niveau plus élevé, généralement tel qu'observé au niveau du circuit, que les modes physiques réels qu'ils représentent, et comprennent souvent plusieurs modes de niveau inférieur.

Les données présentées ici proviennent de plusieurs sources telles que celles énumérées au Tableau D.1. Les tableaux indiquent une méthode d'attribution d'un taux de défaillance estimé à des modes de défaillance spécifiques lorsqu'une valeur spécifique est associée au taux de défaillance total.

Les Tableaux A.1 à A.4 donnent les modes de défaillance des composants à des fins de prévision.

Tableau A.1 – Modes de défaillance – Circuits intégrés (numériques)

Composant	Entrée/ sortie réglée à 0 %	Entrée/ sortie réglée à 1 %
Circuits intégrés (numériques)	50 %	50 %

Tableau A.2 – Modes de défaillance – Transistors, diodes, photocoupleurs

Composant		Court-circuit	Circuit ouvert	Dérive
Transistors	Silicium	85 %	15 %	–
	GaAs	95 %	5 %	–
Diodes	Silicium	85 %	15 %	–
	GaAs	95 %	5 %	–
Photocoupleurs		10 %	50 %	40 %
Diodes laser		85 %	15 %	–

Tableau A.3 – Modes de défaillance – Condensateurs

Composant			Court-circuit %	Circuit ouvert %	Dérive %
Céramique	NPO-COG		70	10	20
	X7R-X5R		90	10	—
	5ZU-Y5V-Y4T		90	10	—
	Condensateurs de traversée		70	30	—
Electrolytique à l'aluminium	Electrolyte liquide	Tension nominale < 350 V	30	30	40
		Tension nominale > 350 V	50	—	50
	Electrolyte solide		10	90	—
Electrolytique au tantale	Electrolyte liquide		80	20	—
	Electrolyte solide		80	20	—
Film métallisé			10	90	—
Mica			40	40	20
Variable			40	10	50
Autres technologies			10	90	—

Tableau A.4 – Modes de défaillance – Résistances, appareils inductifs, relais

Composant		Circuit ouvert %	Court circuit %	Dérive %
Résistances	Couche de carbone	100	–	–
	Film métallique	40	–	60
	Bobinage	100	–	–
	Variable	80	–	20
	Réseaux d'éléments résistifs	40	–	60
Appareils inductifs			80	20
Relais	D'usage général	80	20	–
	Relais d'alimentation	80	20	–
	Relais à mercure	50	50	–
	Relais à semi-conducteurs	80	20	–
	Relais coaxiaux	80	20	–

Annexe B (informative)

Prévision des taux de défaillance

B.1 Généralités

Des prévisions de fiabilité sont réalisées pendant tout le cycle de vie des équipements à différents niveaux et degrés de détail afin d'évaluer, de déterminer et d'améliorer la sûreté de fonctionnement des équipements.

Une prévision de fiabilité des équipements satisfaisante exige généralement un modèle tenant compte de la structure de ces derniers. Le niveau de détail de ce modèle dépend des informations disponibles au moment concerné (par exemple, nomenclature, schéma de circuits, etc.), et plusieurs modèles de fiabilité sont disponibles selon le problème rencontré (par exemple, diagrammes de fiabilité, analyse par arbre de panne, méthode d'espace d'états, etc.).

Au cours de la phase d'étude et précédant la conception, la prévision des taux de défaillance peut être utilisée pour estimer le taux de défaillance des équipements afin de vérifier si les objectifs de fiabilité peuvent être atteints et afin de faciliter la prise de décision concernant l'architecture du produit (par exemple, utilisation de la redondance, refroidissement, etc.).

Les procédures décrites dans la présente norme peuvent être utilisées pour la prévision des taux de défaillance dans les conditions de référence (méthode dite « Part count ») et de fonctionnement (méthode dite « Part stress »).

B.2 Prévision des taux de défaillance pour les assemblages

B.2.1 Généralités

Les prévisions des taux de défaillance sont habituellement réalisées au niveau de l'assemblage. Elles sont par ailleurs utiles pour plusieurs activités importantes au cours du cycle de vie des équipements où elles s'appliquent en complément à de nombreuses autres procédures importantes afin d'atteindre les objectifs de fiabilité.

Exemples d'application de ces activités:

- évaluer si les objectifs de fiabilité peuvent être atteints;
- identifier et réduire les faiblesses de conception éventuelles;
- comparer des conceptions alternatives;
- évaluer les conceptions;
- fournir des données d'entrée pour une analyse de niveau supérieur de la sûreté de fonctionnement de l'ensemble;
- effectuer des calculs de coûts, par exemple, coûts du cycle de vie;
- fixer des objectifs pour les essais de fiabilité;
- planifier des stratégies de soutien logistique, par exemple, pièces de rechange et ressources.

La prévision des taux de défaillance est souvent combinée à d'autres outils qui peuvent être utilisés pour améliorer le processus de prévision afin de le rendre plus représentatif de la réalité en permettant l'application de la structure d'assemblage et de mesures d'importance.

Les taux de défaillance à appliquer pour l'approvisionnement en pièces de rechange et le calcul des coûts du cycle de vie nécessitent une attention toute particulière. Pour ces activités, il convient que les taux de défaillance incluent toutes les causes, y compris les erreurs de conception, défaillances d'équipements et défaillances (de modèles) dépendantes, afin de fournir une vision réaliste des événements concrets présents ou futurs au cours de la phase de fonctionnement du cycle de vie. Voir également l'Annexe C (base de données).

B.2.2 Hypothèses et limites

Les prévisions des taux de défaillance sont fondées sur les hypothèses suivantes, issues de l'étude attentive des défaillances physiques aléatoires dans la durée.

Les hypothèses concernant les prévisions des taux de défaillance sont les suivantes:

- le modèle de prévision suppose que la défaillance de tout composant entraîne la défaillance de l'ensemble. Les taux de défaillance des composants nécessaires pour la prévision sont supposés constants pour la période considérée. Bien que ce fait soit réputé réaliste pour certains composants, il n'est pas exact pour la majorité d'entre eux. Toutefois, l'hypothèse simplifie grandement la tâche à effectuer;
- les défaillances des composants sont traitées comme étant indépendantes les unes des autres. Aucune distinction n'est faite entre les défaillances complètes, partielles et par dérive;
- les composants sont utilisés dans le cadre de leurs spécifications;
- les processus de conception et de fabrication des composants et de l'ensemble considérés sont maîtrisés.

Les limites concernant les prévisions des taux de défaillance sont les suivantes:

- elles ne peuvent pas apporter la preuve de la satisfaction à l'objectif de fiabilité;
- les prévisions, en raison du caractère statistique des informations disponibles, se révèlent plus efficaces pour de grands volumes de composants et d'assemblages;
- les résultats dépendent de la fiabilité des données source;
- l'hypothèse de taux de défaillance de composants constants peut ne pas être toujours vraie. Dans ce cas, cette méthode peut aboutir à des résultats incorrects. Il peut être nécessaire d'utiliser d'autres modèles pour déterminer la fin de vie ou la durée de vie utile;
- il peut ne pas exister de recueils de données ou de modèles de contraintes propres aux taux de défaillance pour les nouveaux types de composants;
- les contraintes non prises en compte peuvent prévaloir et influencer le taux de défaillance.

B.2.3 Processus de prévision du taux de défaillance

Le processus de prévision de fiabilité utilisant des taux de défaillance comporte les étapes suivantes:

a) Définir et comprendre l'ensemble à analyser:

- obtenir des informations sur la structure, telles que des diagrammes fonctionnels et des diagrammes de fiabilité lorsqu'ils existent afin de vérifier la validité ou non de l'hypothèse de série,
- obtenir la nomenclature ou la liste des pièces de rechange;
- obtenir les spécifications ou les fiches techniques des composants pour tous les composants utilisés dans les cas où une analyse des contraintes des pièces doit être effectuée;
- obtenir si nécessaire des schémas de circuit et de principe;
- définir les limites issues des spécifications d'ensemble et des schémas de principe;

- identifier les fonctions et la spécification de l'ensemble, notamment comprendre en quoi consiste une défaillance.
- b) Lorsque la prévision du taux de défaillance s'effectue dans les conditions de fonctionnement, obtenir des informations correspondantes pour chaque composant lorsqu'elles sont différentes des conditions de référence énoncées:
 - identifier les températures de service;
 - déterminer les contraintes électriques réelles;
 - déterminer si nécessaire les profils de fonctionnement;
 - identifier les contraintes d'environnement appropriées;
 - choisir la source de données selon les recommandations de l'Annexe D;
 - utiliser les modèles de contrainte définis en 5.2;
 - sommer les taux de défaillance des composants.
- c) Documenter les résultats, la justification des choix effectués et les hypothèses éventuelles formulées:
 - aucune recommandation concernant la présentation des résultats n'est fournie dans la mesure où de nombreux organismes définissent leur propre structure d'état ou utilisent les structures prédéfinies dans les logiciels du commerce;
 - il convient de documenter le processus de justification des sources de données et des méthodes utilisées;
 - il convient d'établir la liste des hypothèses éventuelles formulées de manière à pouvoir évaluer la validité de la prévision.

B.2.4 Modèles de prévision

B.2.4.1 Généralités

Le taux de défaillance de l'ensemble est calculé en additionnant les taux de défaillance de chaque composant dans chaque catégorie. Ce principe s'applique en supposant que la défaillance de tout composant est censée entraîner la défaillance de l'équipement, identifiée par défaut à une configuration en chaîne ou en série.

Les modèles ci-dessous supposent que le taux de défaillance des composants dans les conditions de référence ou de fonctionnement est constant. Il convient de justifier l'application de l'hypothèse d'un taux de défaillance constant. Cela peut être réalisé sous la forme d'analyses des mécanismes de défaillance probables, de courbes de répartition des défaillances associées, etc.

B.2.4.2 Prévision du taux de défaillance dans les conditions de référence (dénombrement des pièces)

Si la durée de fonctionnement avant défaillance fait l'objet d'une distribution exponentielle sur l'intervalle de temps considéré, alors le taux de défaillance d'un équipement dans une configuration en série et dans les conditions de référence est calculé comme suit:

$$\lambda_S = \sum_{i=1}^n (\lambda_{\text{ref}})_i \quad (\text{B.1})$$

où

λ_{ref} est le taux de défaillance dans les conditions de référence;
 n est le nombre de composants.