

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
1709**

Première édition
First edition
1996-10

Composants électroniques –

Fiabilité –

**Conditions de référence pour les taux de
défaillance et modèles d'influence des
contraintes pour la conversion**

Electronic components –

Reliability –

**Reference conditions for failure rates
and stress models for conversion**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 1709: 1996

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles auprès du Bureau Central de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit tirés du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la CEI 27: *Symboles littéraux à utiliser en électro-technique*;
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*;
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas*;

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale*.

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available from the IEC Central Office.

Information on the revision work, the issue of revised editions and amendments may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications:

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology*;
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets*;
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams*;

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice*.

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC
1709

Première édition
First edition
1996-10

Composants électroniques –

Fiabilité –

**Conditions de référence pour les taux de
défaillance et modèles d'influence des
contraintes pour la conversion**

Electronic components –

Reliability –

**Reference conditions for failure rates
and stress models for conversion**

© CEI 1996 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni
utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé,
électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les
microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

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 the publisher

Bureau central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

X

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	6
 Articles	
1 Domaine d'application.....	8
2 Références normatives	8
3 Définitions	8
4 Symboles	10
5 Conditions de référence.....	14
6 Modèles généraux d'influence des contraintes.....	20
7 Modèles d'influence des contraintes selon les familles de composants	26
 Annexes	
A Restrictions à la validité des modèles de fiabilité et aux prévisions de fiabilité	66
B Exemples	76
C Bibliographie	82

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	7
Clause	
1 Scope.....	9
2 Normative references	9
3 Definitions	9
4 Symbols	11
5 Reference conditions	15
6 Generic stress models	21
7 Specific stress models	27
Annexes	
A Limitations of reliability models and predictions	67
B Examples	77
C Bibliography	83

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES – Fiabilité –

Conditions de référence pour les taux de défaillance et modèles d'influence des contraintes pour la conversion

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) 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. 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 intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 1709 a été établie par le comité d'études 56 de la CEI: Sûreté de fonctionnement.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
56/494/FDIS	56/534/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.

Les annexes A, B et C sont données uniquement à titre d'information.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**ELECTRONIC COMPONENTS –
Reliability –
Reference conditions for failure rates
and stress models for conversion**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the 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, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 the 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 National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 1709 has been prepared by IEC technical committee 56: Dependability.

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

FDIS	Report on voting
56/494/FDIS	56/534/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.

Annexes A, B and C are for information only.

INTRODUCTION

Il est utile de disposer de données sur les taux de défaillance au cours de la phase de conception d'un équipement électronique. On peut s'en servir pour mettre en évidence de possibles anomalies de fiabilité, pour mettre au point les principes de logistique de maintenance, pour évaluer des conceptions et faire des prévisions de fiabilité. Les prévisions de fiabilité ont avant tout un caractère de probabilité; elles sont faites à partir des valeurs de taux de défaillance de composants électroniques. Il convient que ces prévisions soient réalisées avant la fabrication du matériel et/ou avant le début de la procédure d'approvisionnement d'un équipement.

L'utilisation de valeurs de taux de défaillance non validées pour les prévisions de fiabilité peut conduire à des inexactitudes. Ces inexactitudes peuvent être réduites en traitant en conséquence les données de défaillance utilisées afin d'en retirer les informations sur des interventions qui ne correspondent pas véritablement à des défaillances. Il convient, dans les données de taux de défaillance, d'inclure la définition des critères de défaillance ainsi que la nature des contraintes mécaniques et électriques qui sont à l'origine des défaillances de composants. La présente Norme internationale est un guide qui permet de remonter aux conditions de référence de composants pour lesquelles les taux de défaillance en exploitation ont été spécifiés. Il est ensuite possible, en se servant de modèles d'influence des contraintes, d'extrapoler ces données à d'autres conditions de fonctionnement. L'annexe A donne quelques limitations d'emploi de ces modèles. Cette norme ne remplace pas les autres recueils de données valides.

Les conditions de référence choisies sont représentatives de la plupart des applications des composants dans les équipements (par exemple les télécommunications, les calculateurs). On suppose dans cette norme que le taux de défaillance donné dans les conditions de référence est représentatif du composant, c'est-à-dire qu'il tient compte des effets de la complexité, du type de boîtier, de l'influence des fabricants et des procédés de fabrication, etc.

Les valeurs des taux de défaillance à utiliser avec cette norme résulteront d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur du composant et proviendront d'une ou de plusieurs des sources suivantes: un recueil du constructeur de l'équipement, un recueil de l'utilisateur de l'équipement, un recueil du fabricant de composant ou un recueil d'une tierce partie indépendante. Il est recommandé d'utiliser les sources de données les plus récentes qui soient disponibles et applicables au produit et à ses conditions d'emploi particulières. De préférence, il convient de tirer les données de taux de défaillance de résultats d'exploitation.

Cette norme donne les facteurs de contraintes pour différentes conditions. Pour chaque famille de composants, elle donne une valeur moyenne correspondant à des fabricants divers. Lorsque les conditions réelles d'emploi sont très voisines des conditions de référence, on peut – en première approximation – utiliser directement les taux de défaillance observés, après validation. Il convient de se servir des facteurs de contraintes de cette norme lorsque leur validité est reconnue, ou bien de s'en servir en tant qu'approximation, si l'on ne connaît rien d'autre. Lorsqu'on les utilise, il convient de l'indiquer clairement. Par contre, si on sait que d'autres valeurs de facteurs sont plus appropriées, il convient de spécifier ces autres valeurs et de les utiliser.

INTRODUCTION

Failure rate data are useful in the design phase of electronic equipment. They can be used to identify potential reliability problems, the planning of logistic support strategies and the evaluation of designs and reliability predictions. Predictions are essentially probability statements which are based on the failure rates of electronic components. These predictions should be carried out before hardware realization and/or the procurement process of an equipment.

Unsubstantiated failure rate data used in reliability predictions can cause inaccuracies. These inaccuracies can be reduced by post processing supplied failure data to remove information on replacements that are not real failures. Failure rate data should include knowledge of the failure criteria and the mechanical and electrical stresses which have resulted in the component failure. This International Standard serves as a guide to describe reference conditions for which field failure rates should be stated. This then allows, by the use of stress models, extrapolation to other operating conditions. Some of the limitations of the models are outlined in annex A. It is not intended to replace other valid handbooks.

The reference conditions adopted are typical of the majority of applications of components in equipment (e.g. telecommunication use, data processing). In this standard it is assumed that the failure rate used under reference conditions 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.

The component failure rates to be used with this standard are to be determined based upon agreement between the component manufacturer and the component user, using one or more of the following sources: equipment manufacturer data book, equipment user data book, component manufacturer data book or data from an independent third body. Sources should be the latest available that are applicable to the product and its specific use conditions. Ideally, failure rate data should be obtained from the field.

The stress factors for different conditions are specified in this standard. They are typical values for the individual component classes from various manufacturers. When actual conditions of use are in close agreement with reference conditions, then as a first approximation the agreed component failure rates can be used. The stress factors should be used, when they are known to be correct or as an approximation, if nothing else is known. Where they are applied, their use should be clearly stated. If other factors are known to be correct, they should be stated and used.

COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES –

Fiabilité –

Conditions de référence pour les taux de défaillance et modèles d'influence des contraintes pour la conversion

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale donne des recommandations pour l'emploi de taux de défaillance destinés à des prévisions de fiabilité de composants d'équipements électroniques. On définit des conditions de référence pour les taux de défaillance de façon à permettre des comparaisons, dans des conditions uniformes, de données de taux de défaillance ayant différentes origines. Si des taux de défaillance sont donnés dans les conditions de cette norme, il n'est pas nécessaire de préciser les conditions exactes. Il est recommandé d'utiliser les modèles des facteurs de contraintes donnés dans cette norme pour passer des taux de défaillance dans les conditions de référence aux taux de défaillance dans les conditions réelles d'emploi. Cette conversion n'est permise que dans les limites de fonctionnement spécifiées pour les composants (voir aussi annexe A).

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 50(191): 1990, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 191: Sûreté de fonctionnement et qualité de service*

CEI 721-3-3: 1994, *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*

3 Définitions

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les définitions suivantes s'appliquent:

3.1 défaillance: Cessation de l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise. [VEI 191-04-01]

3.2 taux de défaillance: Limite, si elle existe, du quotient de la probabilité conditionnelle pour que l'instant T d'une défaillance d'une entité soit compris dans un intervalle de temps donné $(t, t + \Delta t)$ par la durée Δt de l'intervalle de temps, lorsque Δt tend vers zéro, en supposant que l'entité soit disponible au début de l'intervalle de temps. [VEI 192-12-02]

La caractéristique à préférer pour les données de fiabilité des composants est le taux de défaillance défini dans le VEI 191-12-02 (voir aussi article A.3).

NOTE – Dans cette définition, T peut aussi représenter la durée de fonctionnement avant défaillance ou la durée de fonctionnement avant la première défaillance selon le cas.

ELECTRONIC COMPONENTS – Reliability – Reference conditions for failure rates and stress models for conversion

1 Scope

This International Standard gives guidance on the use of failure rate data for the reliability prediction of components in electronic equipment. 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 standard then no additional information on the specified conditions is required.

The stress models described in this standard should be used as a basis for conversion of the failure rate data at reference conditions to the actual operating conditions. Conversion of failure rate data are only permissible within the specified functional limits of the components (see annex A).

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this International Standard. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this International Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 50(191): 1990, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 191: Dependability and quality of service*

IEC 721-3-3: 1994, *Classification of environmental conditions – Part 3: Classification of groups of environmental parameters and their severities – Section 3: Stationary use at weather-protected locations*

3 Definitions

For the purpose of this International Standard, the following definitions apply:

3.1 failure: Termination of the ability of an item to perform a required function. [IEV 191-04-01]

3.2 failure rate: Limit, if this exists, of the ratio of the conditional probability that the instant of time, T , of a failure of an item falls within a given time interval, $(t, t + \Delta T)$ and the length of this interval, ΔT , when ΔT tends to zero, given that the item is in an up state at the beginning of the time interval. [IEV 191-12-02].

The characteristic preferred for reliability data of electronic components is the failure rate as defined in IEC 191-12-02 (see also A.3).

NOTE In this definition T may also denote the time to failure or the time to first failure, as the case may be.

3.3 taux moyen de défaillance: Moyenne du taux de défaillance sur un intervalle de temps donné. [VEI 191-12-03, modifié]

3.4 conditions de référence: Les conditions de référence qui ont été retenues correspondent à la plupart des applications de composants dans les équipements.

3.5 taux de défaillance de référence: Taux de défaillance dans les conditions de référence données dans la présente norme.

NOTE – Toutes les valeurs observées de taux de défaillance de référence ne sont pas nécessairement égales, en raison de la nature non quantifiable des procédés de fabrication et de report des composants dans les équipements. Cependant, on constate que les valeurs des taux de défaillance sont assez voisines d'une analyse à une autre. On pense donc que l'utilisation de taux de défaillance de référence peut rendre possibles les comparaisons entre différentes familles de composants et fournir une aide précieuse pour les calculs de fiabilité.

3.6 critère de défaillance: Ensemble des conditions qui définissent l'apparition d'une défaillance.

NOTE – Un critère de défaillance dépendra aussi de l'application du composant.

3.7 mode de fonctionnement: Le mode de fonctionnement précise si les composants subissent des contraintes en permanence pendant leur utilisation. On distingue le service continu et le service intermittent.

Le service continu est défini comme une utilisation de longue durée avec des charges constantes ou variables (par exemple une commande de procédés, un commutateur téléphonique).

Le service intermittent est une utilisation avec une charge constante ou variable pendant l'état de fonctionnement (par exemple une commande numérique de machine, des feux de signalisation routiers).

3.8 prévision/prédiction: Opération ayant pour but le calcul de la ou des valeurs prévues d'une grandeur. [VEI 191-16-01]

NOTE – Les termes «prévision» et «prédiction» désignent aussi la valeur prévue d'une grandeur.

4 Symboles

Dans cette norme, les symboles suivants sont utilisés:

λ	taux de défaillance dans les conditions de fonctionnement
λ_{ref}	taux de défaillance dans les conditions de référence
π_u	facteur de tension traduisant l'influence de la tension
π_I	facteur de courant traduisant l'influence du courant
π_T	facteur de température traduisant l'influence de la température
π_{ES}	facteur de contraintes électriques traduisant l'influence des contraintes électriques
π_S	facteur de fréquence de manoeuvre traduisant l'influence de la fréquence de manoeuvre
θ_{amb}	température ambiante en degrés Celsius
T_{amb}	température ambiante en kelvins
$\theta_{\text{amb,ref}}$	température ambiante de référence en degrés Celsius
$T_{\text{amb,ref}}$	température ambiante de référence en kelvins
θ_{ref}	température de référence en degrés Celsius
T_{ref}	température de référence en kelvins

3.3 mean failure rate: Mean of the failure rate over a given time interval. [IEV 191-12-03, modified]

3.4 reference conditions: Reference conditions selected so as to correspond to the majority of applications of components in equipment.

3.5 reference failure rate: Failure rate stated under the reference conditions given in this standard.

NOTE – Reference failure rates are not necessarily equal because of the unquantifiable nature of the manufacturing processes and the assembly stages of components into equipment. However, failure rate values are found in practice to have similarities from one analysis to another. It is therefore suggested that the use of reference failure rate values can provide comparative information between different component categories and act as a useful guide for reliability calculations.

3.6 failure criterion: Condition for the presence of a failure.

NOTE – The failure criterion will also depend on the application of the component.

3.7 operating mode: Operating mode states whether components are continuously stressed during their operation. A distinction is made between continuous duty and intermittent duty.

Continuous duty is defined as operation for a long duration with constant or changing loads (e.g. process controls, telephone switch).

Intermittent duty is defined as operation with constant or changing loads during up state (e.g. numerical controls for machinery, road traffic signals).

3.8 prediction: Process of computation used to obtain the predicted value(s) of a quantity. [IEV 191-16-01]

NOTE – The term “prediction” may also be used to denote the predicted values of a quantity.

4 Symbols

In this standard, the following symbols are used:

λ	failure rate under operating conditions
λ_{ref}	failure rate under reference conditions
π_U	voltage dependence factor
π_I	current dependence factor
π_T	temperature dependence factor
π_{ES}	electrical stress dependence factor
π_S	switching rate dependence factor
θ_{amb}	ambient temperature in degrees Celsius
T_{amb}	ambient temperature in kelvins
$\theta_{\text{amb,ref}}$	reference ambient temperature in degrees Celsius
$T_{\text{amb,ref}}$	reference ambient temperature in kelvins
θ_{ref}	reference temperature in degrees Celsius
T_{ref}	reference temperature in kelvins

ΔT_{ref}	échauffement propre de référence en degrés Celsius
ΔT	échauffement propre réel en degrés Celsius
θ_1	en degrés Celsius: – pour les circuits intégrés: température équivalente de jonction, de référence*; – pour les composants discrets à semiconducteurs et les composants optoélectroniques: température de jonction, de référence; – pour les résistances: température moyenne de référence de l'élément résistif; – pour les inductances: température moyenne de référence du bobinage; – pour les condensateurs: température de référence du condensateur; – pour les autres composants électroniques: température de référence du composant;
θ_2	en degrés Celsius: – pour les circuits intégrés: température équivalente de jonction réelle; – pour les composants discrets à semiconducteurs et les composants optoélectroniques: température de jonction réelle; – pour les résistances: température moyenne réelle de l'élément résistif; – pour les inductances: température moyenne réelle du bobinage; – pour les condensateurs: température réelle du condensateur; – pour les autres composants électroniques: température réelle ambiante du composant.
U	tension de fonctionnement
U_{ref}	tension de référence
U_n	tension nominale
I	courant de fonctionnement
I_{ref}	courant de référence
I_n	courant nominal
P	puissance dissipée en fonctionnement
P_{ref}	puissance dissipée de référence
P_n	puissance dissipée nominale
P_{th}	résistance thermique
$R_{\text{th,amb}}$	résistance thermique (vers l'environnement)

* Dans la CEI 747-1, la température équivalente T_{vj} est définie comme la température interne équivalente: une température théorique fondée sur une représentation simplifiée du comportement thermique et électrique du dispositif.

NOTES

- 1 Pour les dispositifs à semiconducteurs à jonction, cette température peut s'appeler «température équivalente de jonction».
- 2 La température équivalente n'est pas nécessairement la température du point le plus chaud du dispositif.

ΔT_{ref}	reference self-heating in degrees Celsius
ΔT	actual self-heating in degrees Celsius
θ_1	in degrees Celsius: – for integrated circuits the reference virtual (equivalent) junction temperature*; – for discrete semiconductors and optoelectronic components the reference junction temperature; – for resistors the average reference temperature of the resistor element; – for inductors the average reference temperature of the winding; – for capacitors the reference temperature of the capacitor; – for other electronic components the reference temperature of the component.
θ_2	in degrees Celsius: – for integrated circuits the actual virtual (equivalent) junction temperature; – for discrete semiconductors and optoelectronic components the actual junction temperature; – for resistors the average actual resistor element temperature; – for inductors the average actual winding temperature; – for capacitors the actual capacitor temperature; – for other electronic components the actual ambient temperature.
U	operating voltage
U_{ref}	reference voltage
U_{rat}	rated voltage
I	operating current
I_{ref}	reference current
I_{rat}	rated current
P	operating power dissipation
P_{ref}	reference power dissipation
P_{rat}	rated power dissipation
R_{th}	thermal resistance
$R_{\text{th,amb}}$	thermal resistance (to the environment)

* In IEC 747-1, the virtual temperature T_{vj} is defined as internal equivalent temperature: a theoretical temperature which is based on a simplified representation of the thermal and electrical behaviour of the semiconductor device.

NOTES

- 1 For junction semiconductor devices, this term is sometimes called virtual (equivalent) junction temperature.
- 2 The virtual temperature is not necessarily the highest temperature in the device.

5 Conditions de référence

5.1 Généralités

Les facteurs qui doivent être spécifiés comme conditions de référence pour les taux de défaillance des composants sont donnés de 5.2 à 5.7.

5.2 Laps de temps (phase de fonctionnement)

Les données de fiabilité de composants s'appliquent normalement à la période à taux de défaillance constant (voir A.3: période commençant à la fin de la période des défaillances précoces et se terminant au début de la période des défaillances d'usure).

Si l'on s'attend, pour un type de composant, à ce qu'il y ait encore des défaillances précoces, il convient de préciser le début de la période à taux de défaillance constant. Pour les composants utilisés pendant une partie de la période d'usure (par exemple la fin de vie des lampes à incandescence et des relais), on prend le taux de défaillance moyen (voir 3.3) jusqu'à la fin de durée de vie utile donnée dans les spécifications.

5.3 Critère de défaillance

Par défaillance, on comprend, pour les besoins de cette norme, aussi bien une défaillance complète qu'une défaillance due à une dérive de caractéristiques (au-delà des limites) conduisant à une défaillance du dispositif sur lequel le composant est monté, cela dans la plupart des applications. Il convient d'indiquer dans les spécifications particulières les limites des dérives maximales possibles définissant les défaillances par dérives des caractéristiques (voir A.3). Il est possible que la définition qui vient d'être donnée ne coïncide pas avec celle des «défaillances spécifiées» c'est-à-dire avec les définitions données dans la spécification particulière du composant. Il convient de signaler de telles différences lorsqu'elles existent.

5.4 Mode de fonctionnement

Le mode de fonctionnement est le fonctionnement permanent, sauf indication contraire spécifiée en 5.7 (par exemple le fonctionnement intermittent).

5.5 Contraintes climatiques et mécaniques

Tableau 1 – Conditions de référence pour les contraintes climatiques et mécaniques

Type de contrainte	Condition de référence ¹⁾
Température ambiante ²⁾	$\theta_{amb,ref} = 40\text{ °C}$
Conditions climatiques	Classe 3K3 selon la CEI 721-3-3
Conditions mécaniques	Classe 3M3 selon la CEI 721-3-3
Contraintes spéciales ³⁾	Aucune
¹⁾ Les taux de défaillance donnés dans ces conditions s'appliquent seulement à des composants qui n'ont pas été endommagés pendant le transport et le stockage. ²⁾ Dans cette norme, on appelle température ambiante la température du milieu, au voisinage du composant (considéré comme étant au repos), pendant l'utilisation du matériel. Il convient que l'environnement du composant soit défini. ³⁾ Les contraintes spéciales peuvent être le vent, la pluie et la neige, la glace, des gouttes, des gouttelettes ou des jets d'eau, les poussières (ayant une activité chimique ou non), les effets d'animaux nuisibles, les gaz corrosifs, les rayonnements ionisants, les cycles de température, etc.	

5 Reference conditions

5.1 General

Factors to be specified as reference conditions for failure rate data of components are given in 5.2 to 5.7.

5.2 Time period (operating phase)

Reliability data for components apply normally to the constant failure rate period (see A.3, end of early failure period to beginning of wear-out failure period).

If early failures are still to be expected for a component, the beginning of the phase of constant failure rate should be specified. For components that are operated into their wear-out failure period (for example, end of incandescent lights and relays), the mean failure rate (see 3.3) is used up to the useful life, as given in the specifications.

5.3 Failure criterion

Failures, for the purpose of this standard, include both complete failures and parametric drift failures (outside limits) which lead to failure of the included item in most applications. The limits of the maximum permissible deviations for parametric drift failures should be specified in particular specifications (see A.3).

Failures as described above may not be the same as "specification failure", i.e. failures against the component detail specification. Where differences exist they should be clearly stated.

5.4 Operating mode

The operating mode is continuous operation, if not otherwise specified in 5.7 (for example, intermittent).

5.5 Climatic and mechanical stresses

Table 1 – Reference conditions for climatic and mechanical stresses

Type of stress	Reference condition ¹⁾
Ambient temperature ²⁾	$\theta_{\text{amb, ref}} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Climatic conditions	Class 3K3 as per IEC 721-3-3
Mechanical stress	Class 3M3 as per IEC 721-3-3
Special stresses ³⁾	None
¹⁾ The failure rates stated under these conditions apply only to components not damaged during transport and storage. ²⁾ The ambient temperature for the purpose of this standard is the temperature of the medium next to the component (which is considered as not operating) during equipment operation. The surroundings of the component should be defined. ³⁾ Wind, rain and snow, icing, drips, sprays or jets of water, dust (chemically active or not), effects of animal pests, corrosive gases, radioactive radiation, temperature cycling, etc.	

5.6 Contraintes électriques

Les conditions de référence pour les contraintes électriques, spécifiées en fonction du type de composant, sont données dans le tableau 2. Ce tableau donne des conditions résumées. Des indications complémentaires sont données en 5.7 pour différents cas.

Tableau 2 – Conditions de référence pour les contraintes électriques – Résumé

Type de composant	Conditions de référence ¹⁾	Valeur de l'échauffement propre
Circuits intégrés à semiconducteurs	Pour les circuits numériques CMOS: $U_{ref} = 5 \text{ V}$ Pour les circuits analogiques bipolaires: 70 % de la tension nominale ($U_{ref} / U_n = 0,7$) Pour les autres circuits intégrés: tension d'utilisation spécifiée ou tension de fonctionnement de 15 % au-dessous de la valeur nominale spécifiée L'échauffement propre de référence ΔT_{ref} doit être donné.	$P_{ref} \times R_{th,amb}$
Transistors, diodes, semiconducteurs de puissance ²⁾	Pour les transistors: 50 % de la tension nominale ($U_{ref} / U_n = 0,5$) L'échauffement propre de référence ΔT_{ref} doit être donné.	$P_{ref} \times R_{th,amb}$
Phototransistors, photodiodes, photorésistances, photoéléments, photocoupleurs, diodes électroluminescentes LED, IRED	Pour les phototransistors: 50 % de la tension nominale ($U_{ref} / U_n = 0,5$) Pour les diodes électroluminescentes: 50 % du courant nominal ($I_{ref} / I_n = 0,5$) L'échauffement propre de référence ΔT_{ref} doit être donné.	$P_{ref} \times R_{th,amb}$
Résistances et réseaux résistifs	50 % de la puissance nominale à 40 °C ($P_{ref} / P_n = 0,5$) L'échauffement propre de référence ΔT_{ref} doit être donné.	$P_{ref} \times R_{th,amb}$
Condensateurs	Pour les condensateurs électrolytique à l'aluminium: 80 % de la tension nominale à 40 °C ($U_{ref} / U_n = 0,8$) Pour les autres condensateurs: 50 % de la tension nominale à 40 °C ($U_{ref} / U_n = 0,5$)	–
Inductances, transformateurs, bobinages	50 % de la puissance nominale à 40 °C ($P_{ref} / P_n = 0,5$)	Doit être donné
Autres composants électroniques ³⁾	Contraintes nominales	–
Connecteurs et supports de composants	50 % du courant nominal ($I_{ref} / I_n = 0,5$)	–

5.6 Electrical stresses

The reference conditions for electrical stresses are specified according to the type of component. Table 2 provides a summary. Additional points are specified for various cases in 5.7.

Table 2 – Reference conditions for electrical stresses – Summary

Type of component	Reference conditions ¹⁾	Notes on self-heating
Integrated semiconductor circuits	<i>For digital CMOS:</i> $U_{\text{ref}} = 5 \text{ V}$ <i>For bipolar analogue circuits:</i> 70 % of rated voltage ($U_{\text{ref}} / U_{\text{rat}} = 0,7$) <i>For other integrated circuits:</i> operating voltage specified or else operating voltage 15 % under rated value given in specifications The reference self-heating ΔT_{ref} shall be given	$P_{\text{ref}} \times R_{\text{th,amb}}$
Transistors, diodes, power semiconductors ²⁾	<i>For transistors:</i> 50 % of rated voltage ($U_{\text{ref}} / U_{\text{rat}} = 0,5$) The reference self-heating ΔT_{ref} shall be given.	$P_{\text{ref}} \times R_{\text{th,amb}}$
Phototransistors, photodiodes, light-sensitive resistors, photoelements, optocouplers, LEDs and IREDs	<i>For phototransistors:</i> 50 % of rated voltage ($U_{\text{ref}} / U_{\text{rat}} = 0,5$) <i>For light-emitting and infrared-emitting diodes:</i> 50 % of rated current ($I_{\text{ref}} / I_{\text{rat}} = 0,5$) The reference self-heating ΔT_{ref} shall be given.	$P_{\text{ref}} \times R_{\text{th,amb}}$
Resistors and resistor networks	50 % of rated power at 40 °C ($P_{\text{ref}} / P_{\text{rat}} = 0,5$) The reference self-heating ΔT_{ref} shall be given.	$P_{\text{ref}} \times R_{\text{th,amb}}$
Capacitors	<i>For aluminium electrolytic:</i> 80 % of rated voltage at 40 °C ($U_{\text{ref}} / U_{\text{rat}} = 0,8$) <i>For other capacitors:</i> 50 % of rated voltage at 40 °C ($U_{\text{ref}} / U_{\text{rat}} = 0,5$)	–
Inductors, transformers, coils	50 % of rated power at 40 °C ($P_{\text{ref}} / P_{\text{rat}} = 0,5$)	Shall be given
Other electronic components ³⁾	Rated stress	–
Connectors and plug-in sockets	50 % of rated current ($I_{\text{ref}} / I_{\text{rat}} = 0,5$)	–

Tableau 2 (fin)

Type de composant	Conditions de référence ¹⁾	Valeur de l'échauffement propre
Relais	Contraintes électriques sur les contacts ⁴⁾: <i>relais pour courants faibles:</i> $0,5 \text{ V} < U \leq U_n$ (tension alternative) et $0 \text{ A} < I \leq 0,1 \text{ A}$ (sur charge résistive) <i>relais d'usage général:</i> $0 \text{ V} < U \leq 13 \text{ V}$ et $0,1 \text{ A} < I \leq I_n$ (courant alternatif et charge résistive) <i>relais pour l'automobile:</i> $0 \text{ V} < U \leq 13 \text{ V}$ et $0,1 \text{ A} < I \leq I_n$ (charge résistive) Fréquence de manoeuvre: 1 cycle par heure	
Commutateurs et boutons-poussoirs	Contraintes électriques sur les contacts ⁵⁾: <i>commutateurs de carte imprimée DIP-FIX; commutateur de codage et boutons-poussoirs à membrane.</i> Valeurs inférieures ou égales aux valeurs nominales <i>commutateurs et boutons-poussoirs pour faibles contraintes:</i> $0,5 \text{ V} < U \leq U_n$ (courant alternatif) et $0 \text{ A} < I \leq 0,1 \text{ A}$ (charge résistive) <i>commutateurs et boutons-poussoirs pour contraintes plus fortes:</i> $0 \text{ V} < U \leq 13 \text{ V}$ et $0,1 \text{ A} < I \leq I_n$ (charge résistive)	
Voyants et lampes de signalisation (à incandescence)	Tension nominale spécifiée	
1) ΔT_{ref} étant la valeur typique de l'échauffement propre de référence, la signification de la température de référence $\theta_1 = 40 + \Delta T_{\text{ref}}$ (en degrés Celsius) est la suivante: – pour les circuits intégrés, θ_1 est la température équivalente de jonction de référence; – pour les composants discrets à semiconducteurs et les composants optoélectroniques, θ_1 est la température de jonction de référence; – pour les résistances, θ_1 est la température moyenne de référence de l'élément résistif; – pour les inductances, θ_1 est la température moyenne de référence du bobinage; – pour les condensateurs, θ_1 est la température de référence du condensateur avec $\Delta T_{\text{ref}} = 0 \text{ °C}$; – pour les autres composants électroniques, θ_1 est la température de référence du composant avec $\Delta T_{\text{ref}} = 0 \text{ °C}$. Lorsque l'on donne des taux de défaillance pour une température ambiante de 40 °C, il faut aussi donner la puissance dissipée de référence P_{ref} et la résistance thermique $R_{\text{th.amb}}$ (vers l'environnement) correspondantes. 2) Les diodes de redressement, les ponts de redressement, les diodes Schottky, les thyristors, les triacs et les diacs. 3) Les varistances, les thermistances à coefficient de température positif (CTP) ou négatif (CTN), les parafoudres, les filtres piézoélectriques, les quartz, les oscillateurs à quartz. 4) Voir les zones de contraintes en 7.7.2, figure 9. 5) Voir les zones de contraintes en 7.8.2, figure 11.		

Table 2 (concluded)

Type of component	Reference conditions ¹⁾	Notes on self-heating
Relays	Electrical contact stress: ⁴⁾ <i>low current relays:</i> $0,5 \text{ V} < U \leq U_{\text{rat}}$ a.c. and $0 \text{ A} < I \leq 0,1 \text{ A}$ by resistive load <i>general purpose relays:</i> $0 \text{ V} < U \leq 13 \text{ V}$ and $0,1 \text{ A} < I \leq I_{\text{rat}}$ by resistive load and a.c. <i>automotive relays:</i> $0 \text{ V} < U \leq 13 \text{ V}$ and $0,1 \text{ A} < I \leq I_{\text{rat}}$ by resistive load Switching rate: one cycle per hour	-
Switches and push-buttons	Electrical contact stress: ⁵⁾ <i>dip fix, coding switches and foil push-buttons up to rated stress</i> <i>switches and push-buttons for low electrical stress:</i> $0,5 \text{ V} < U \leq U_{\text{rat}}$ a.c. and $0 \text{ A} < I \leq 0,1 \text{ A}$ by resistive load <i>switches and push-buttons for higher electrical stress:</i> $0 \text{ V} < U \leq 13 \text{ V}$ and $0,1 \text{ A} < I \leq I_{\text{rat}}$ by resistive load	-
Pilot and signal lamps (incandescent)	Rated voltage according to specifications	-
¹⁾ With typical reference self-heating ΔT_{ref}, the reference temperature $\theta_1 = 40 + \Delta T_{\text{ref}}$ in degrees Celsius means: – for integrated circuits: the reference virtual (equivalent) junction temperature; – for discrete semiconductors and optoelectronic components: the reference junction temperature; – for resistors: the average reference temperature of the resistor element; – for inductors: the average reference temperature of the winding; – for capacitors: the reference temperature of the capacitor, where $\Delta T_{\text{ref}} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$; – for other electronic components: the reference temperature of the component, where $\Delta T_{\text{ref}} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$. When stating the failure rates for an ambient temperature of $40 \text{ }^\circ\text{C}$, the reference power dissipation P_{ref} and the thermal resistance $R_{\text{th,amb}}$ (to the environment) for which this value holds must also be given. ²⁾ Rectifier diodes, bridge rectifiers, Schottky diodes, thyristors, triacs and diacs. ³⁾ Varistors, PTC thermistors, NTC thermistors, surge arresters, crystal filters, quartz crystals, quartz oscillators. ⁴⁾ See stress regions in 7.7.2, figure 9. ⁵⁾ See stress regions in 7.8.2, figure 11.		

5.7 Indications complémentaires

5.7.1 Connecteurs et supports de composants

Période de temps: La période de temps à considérer est limitée par la durée de vie atteinte par 90 % des composants.

Mode de fonctionnement: Pour les contraintes électriques, le mode de fonctionnement est l'état de fonctionnement permanent ou intermittent.
Les composants sont montés sur les supports.

5.7.2 Relais

Période de temps: La période de temps à considérer est limitée par la durée de vie atteinte par 90 % des relais.

Mode de fonctionnement: On peut choisir le mode de fonctionnement dans les limites de la spécification du relais (pour la bobine et l'assemblage de contacts).

NOTE – La défaillance des relais doit être spécifiée en accord avec la CEI 255-23.

5.7.3 Voyants et lampes de signalisation (à incandescence)

Période de temps: La période de temps à considérer est limitée par la durée de vie atteinte par 90 % des lampes.

Mode de fonctionnement: Le mode de fonctionnement est le fonctionnement permanent; dans le cas de l'exploitation intermittente, la durée de fonctionnement est la somme des périodes de fonctionnement (lampes allumées).

6 Modèles généraux d'influence des contraintes

6.1 Généralités

Les composants ne fonctionnent pas toujours dans des conditions de référence. Les taux de défaillance observés dans de telles conditions seront différents de ceux qui sont donnés pour les conditions de référence. Il peut donc être nécessaire de convertir des valeurs de taux de défaillance de référence en valeurs de taux de défaillance applicables aux conditions réelles de fonctionnement (température ambiante réelle, contraintes électriques réelles appliquées aux composants) et vice versa. A l'article 7, on donne les modèles d'influence des contraintes et des valeurs qui correspondent à chaque famille de composants, qui peuvent être utilisés pour convertir les taux de défaillance de référence en taux de défaillance en exploitation. Cependant, si des modèles plus appropriés s'appliquent mieux à des types particuliers de composants, il convient alors de s'en servir et d'indiquer que de tels modèles ont été utilisés.

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

Le taux de défaillance dans les conditions de fonctionnement se calcule à l'aide de l'équation suivante:

$$\lambda = \lambda_{\text{ref}} \times \pi_U \times \pi_I \times \pi_T \quad (1)$$

5.7 *Supplementary statements*

5.7.1 *Connectors and plug-in sockets*

Time period: Up to the time interval that 90 % of the components survive.

Operating mode: For the electrical stress, the operating mode is continuously or intermittently in operating state. The components are plugged in.

5.7.2 *Relays*

Time period: Up to the time interval that 90 % of the relays survive.

Operating mode: The operating mode can be chosen within the limits set by the relay's specification (for coil and contact assembly).

NOTE – Relay failure shall be specified in accordance with IEC 255-23.

5.7.3 *Pilot and signal lamps (incandescent)*

Time period: Up to the time interval that 90 % of the lamps survive.

Operating mode: The operating mode is continuously in operating state; for intermittent operation the operating time is the sum of the periods alight.

6 **Generic stress models**

6.1 *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 7 of this standard specific stress models and values for component categories are given 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 noted.

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

The failure rate under operating conditions is calculated as follows:

$$\lambda = \lambda_{\text{ref}} \times \pi_U \times \pi_I \times \pi_T \quad (1)$$

où

λ_{ref} est le taux de défaillance dans les conditions de référence;

π_U est le facteur de tension (influence de la tension);

π_I est le facteur de courant (influence du courant);

π_T est le facteur de température (influence de la température).

Pour ce modèle, on suppose que le taux de défaillance est constant dans des conditions de fonctionnement constantes. Il est recommandé de justifier l'hypothèse d'un taux de défaillance constant. Cela peut être réalisé en analysant les mécanismes de défaillance les plus probables et en établissant les courbes de répartition des défaillances correspondantes, etc.

6.2 Influence de tension, facteur π_U

Le facteur d'influence de tension a pour expression:

$$\pi_U = \exp \left\{ C_1 (U^{C_2} - U_{\text{ref}}^{C_2}) \right\} \quad (2)$$

ou

$$\pi_U = \exp \left\{ C_3 \left[(U/U_n)^{C_2} - (U_{\text{ref}}/U_n)^{C_2} \right] \right\} \quad (3)$$

où

U est la tension de fonctionnement en volts;

U_{ref} est la tension de référence en volts;

U_n est la tension nominale en volts;

C_1 est la constante en $(1/V)^{C_2}$;

C_2, C_3 sont des constantes.

Les équations données traduisent de façon empirique l'influence de la tension de fonctionnement sur les taux de défaillance.

NOTE – L'équation (3) s'obtient à partir de l'équation (2) en posant $C_1 = C_3 / (U_n)^{C_2}$

6.3 Influence du courant, facteur π_I

$$\pi_I = \exp \left\{ C_4 \left[(I/I_n)^{C_5} - (I_{\text{ref}}/I_n)^{C_5} \right] \right\} \quad (4)$$

où

I est le courant de fonctionnement en ampères;

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

I_n est le courant nominal en ampères;

C_4, C_5 sont des constantes.

L'équation donnée traduit de façon empirique l'influence du courant de fonctionnement sur les taux de défaillance.

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.

In this model it is assumed that the failure rate under constant 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.

6.2 Stress factor for voltage dependence, π_U

$$\pi_U = \exp \left\{ C_1 (U^{C_2} - U_{\text{ref}}^{C_2}) \right\} \quad (2)$$

or

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

where

U is the operating voltage in volts;

U_{ref} is the reference voltage in volts;

U_{rat} is the rated voltage in volts;

C_1 is the constant in $(1/V)^{C_2}$;

C_2, C_3 are constants.

The formulae given represent an empirical model to describe the voltage dependence of failure rates.

NOTE – Equation (3) is obtained from equation (2) when $C_1 = C_3 / (U_{\text{rat}})^{C_2}$.

6.3 Stress factor for current dependence, π_I

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

where

I is the operating current in amperes;

I_{ref} is the reference current in amperes;

I_{rat} is the rated current in amperes;

C_4, C_5 are constants.

The formula given represents an empirical model to describe the current dependence of failure rates.

6.4 Influence de la température, facteur π_T

$$\pi_T = \frac{A \times e^{E_{a1} \times z} + (1-A) \times e^{E_{a2} \times z}}{A \times e^{E_{a1} \times z_{ref}} + (1-A) \times e^{E_{a2} \times z_{ref}}} \quad (5)$$

avec
$$z = \frac{1}{k_0} \left(\frac{1}{T_{amb,ref}} - \frac{1}{T_2} \right) \quad \text{et} \quad z_{ref} = \frac{1}{k_0} \left(\frac{1}{T_{amb,ref}} - \frac{1}{T_1} \right) \quad \text{en (eV)}^{-1}$$

où

A est une constante;

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

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

$T_{amb,ref} = 313 \text{ K};$

$T_1 = (\theta_1 + 273) \text{ en kelvins};$

$T_2 = (\theta_2 + 273) \text{ en kelvins}.$

La signification des températures θ_1 et θ_2 en degrés Celsius au-dessus de la moyenne est la suivante:

- pour les circuits intégrés
 - θ_1 : température équivalente de jonction de référence
 - θ_2 : température équivalente de jonction réelle
- pour les composants discrets à semiconducteurs et les composants optoélectroniques
 - θ_1 : température de jonction de référence
 - θ_2 : température de jonction réelle
- pour les condensateurs
 - θ_1 : température de référence du condensateur
 - θ_2 : température du condensateur réelle
- pour les résistances
 - θ_1 : température moyenne de référence de l'élément résistif (par exemple le film)
 - θ_2 : température moyenne réelle de l'élément résistif
- pour les inductances
 - θ_1 : température moyenne de référence du bobinage
 - θ_2 : température moyenne réelle du bobinage
- pour les autres composants électroniques
 - θ_1 : température ambiante de référence
 - θ_2 : température ambiante réelle

NOTE – L'équation (5) est un modèle empirique; elle donne l'influence de la température sur les taux de défaillances. Si $A = 1$ et $E_{a2} = 0$ (ou bien $A = 0$, $E_{a1} = 0$) on retrouve la loi d'Arrhénius. La présence de deux énergies d'activation (E_{a1} et E_{a2}) dans l'équation permet de rendre compte des cas où deux mécanismes de défaillance – ou plus de deux – sont prépondérants dans le processus de défaillance. On considère que l'utilisation de deux énergies d'activation suffit pour traduire correctement l'influence de la température même lorsque plus de deux mécanismes de défaillance différents sont prédominants dans le processus de défaillance. Les nomogrammes ont été établis à l'aide des valeurs appropriées de A , E_{a1} et E_{a2} . Ces valeurs sont données à l'article 7 pour chaque famille de composants.

6.4 Stress factor for temperature dependence, π_T

$$\pi_T = \frac{A \times e^{Ea_1 \times z} + (1-A) \times e^{Ea_2 \times z}}{A \times e^{Ea_1 \times z_{\text{ref}}} + (1-A) \times e^{Ea_2 \times z_{\text{ref}}}} \quad (5)$$

$$\text{with } z = \frac{1}{k_0} \left(\frac{1}{T_{\text{amb,ref}}} - \frac{1}{T_2} \right) \quad \text{and} \quad z_{\text{ref}} = \frac{1}{k_0} \left(\frac{1}{T_{\text{amb,ref}}} - \frac{1}{T_1} \right) \quad \text{in (eV)}^{-1}$$

where

A is a constant;

Ea_1, Ea_2 are activation energies in (eV);

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

$T_{\text{amb,ref}} = 313$ K;

$T_1 = (\theta_1 + 273)$ in kelvins;

$T_2 = (\theta_2 + 273)$ in kelvins.

The temperatures θ_1 and θ_2 in degrees Celsius above mean:

- for integrated circuits
 - θ_1 : reference virtual (equivalent) junction temperature
 - θ_2 : actual virtual (equivalent) junction temperature
- for discrete semiconductors and optoelectronic components
 - θ_1 : reference junction temperature
 - θ_2 : actual junction temperature
- for capacitors
 - θ_1 : reference capacitor temperature
 - θ_2 : actual capacitor temperature
- for resistors
 - θ_1 : average reference temperature of the resistor element (for example, film)
 - θ_2 : average actual temperature of the resistor element
- for inductors
 - θ_1 : average reference temperature of the winding
 - θ_2 : average actual temperature of the winding
- for other electronics components
 - θ_1 : reference ambient temperature
 - θ_2 : actual ambient temperature

NOTE – Equation (5) is an empirical model and it describes the temperature dependence of the failure rates. If $A = 1$ and $Ea_2 = 0$ (or $A = 0$, $Ea_1 = 0$), this results in the phenomenological Arrhenius equation. The two activation energies (Ea_1, Ea_2) in the equation are used to allow for cases where two or more failure mechanisms dominate the failure process. Use of the model with two activation energies is considered sufficient to model adequately the temperature-failure rate relation, even in cases where more than two different failure mechanisms dominate the failure process. The values for A , Ea_1 and Ea_2 are suitable figures that are used for calculating the nomographs. They are given in clause 7 according to the kind of component.

6.5 Autres facteurs d'influence

Les autres facteurs d'influence sont donnés pour chaque famille de composants dans l'article 7, lorsqu'il existe une influence connue (par exemple l'influence de la fréquence de manoeuvre pour les relais). Pour le moment, on ne connaît pas de loi pour décrire l'influence, sur le taux de défaillance, de l'humidité, de la pression de l'air, de contraintes mécaniques et de certaines contraintes spéciales (voir article 5). Si on connaît une loi pour ce type de contrainte, il faut l'indiquer. Quelques autres facteurs d'influence pourraient être prépondérants; de même, des contraintes d'environnement peuvent avoir une influence différente sur certains composants. Si on pense que ces types de contraintes peuvent avoir une influence sur les taux de défaillance, mais si on ne les connaît pas, il faut entreprendre les études appropriées.

NOTE – Dans cette norme, on ne donne que les facteurs d'influence de contraintes de fonctionnement (par exemple le courant, la tension), la température ambiante étant assimilée à une contrainte de fonctionnement. Par principe, on ne donne pas ici, contrairement à d'autres recueils, l'influence des conditions d'environnement applicables, sous la forme de facteurs d'environnement. En effet, il n'est pas utile de donner un tel facteur non intrinsèque dans cette norme parce que l'influence des conditions d'environnement applicables sur les composants dépend essentiellement de la conception d'équipement. Par exemple, si un composant est protégé par un boîtier étanche dans un équipement, il n'y aura aucune répercussion sur les conditions d'environnement applicables même si l'équipement est utilisé à bord d'un bateau ou dans des véhicules automobiles plutôt que dans des locaux protégés (conditions d'environnement de laboratoire). Savoir s'il existe une influence de l'environnement et, si tel est le cas, pouvoir l'identifier dépend essentiellement du constructeur de l'équipement. Par conséquent, un tel effet peut être pris en compte au cours d'une prévision de fiabilité de l'équipement, à l'aide d'un facteur global d'environnement.

7 Modèles d'influence des contraintes selon les familles de composants

7.1 Généralités

Les modèles d'influence des contraintes spécifiques aux catégories de composants, spécifiés de 7.2 à 7.9, sont donnés pour convertir les taux de défaillance suivant différentes conditions. Ces modèles d'influence des contraintes contiennent des constantes qui sont des moyennes des valeurs établies pour des composants particuliers provenant de différents fabricants (déterminées lors de l'exploitation ou au cours d'essais en laboratoire).

7.2 Facteurs de contraintes pour les circuits intégrés

7.2.1 Généralités

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

$$\lambda = \lambda_{\text{ref}} \times \pi_U \times \pi_T \quad \text{pour les circuits intégrés numériques CMOS et les circuits intégrés bipolaires analogiques} \quad (6)$$

$$\lambda = \lambda_{\text{ref}} \times \pi_T \quad \text{pour tous les autres circuits intégrés} \quad (7)$$

Les facteurs de contraintes traduisant l'influence de la tension et de la température sont donnés en 7.2.2 et 7.2.3.

7.2.2 Influence de la tension, facteur π_U

On ne prend en compte l'influence de la tension que pour les circuits intégrés numériques CMOS et les circuits analogiques bipolaires; la loi d'influence est donnée par les équations (2) ou (3). On donne aux constantes C_1 , C_2 , C_3 les valeurs du tableau 3, sauf indication contraire. Les valeurs numériques du facteur π_U qui en résultent sont données dans les tableaux 4 et 5.

6.5 Other factors of influence

Other stress factors are given for individual types of components in clause 7, where a dependence is known (for example the effect of switching cycles for relays). At present, no generally applicable conversion methods can be given for the dependence of the failure rate on humidity, air pressure, mechanical stress, and special stresses (see clause 5). If the failure rate dependence of these types of stress is known, it has to be stated. Some other factors of influence could be dominant and the environmental stress may influence some components differently. 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 are necessary.

NOTE – In this standard only stress factors for the operating conditional stresses (for example, current, voltage) including the ambient temperature are stated. A factor for the effect of environmental application conditions, also called environmental application factor, is basically not used here as in some handbooks. The setting of such a non-specific factor in this standard is not practical because the influence of the 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 encapsulated in the equipment. Whether an environmental application influence occurs, and if so which one, depends therefore essentially on the equipment manufacturer. Thus, such an effect may be considered within the reliability prediction of equipment using an overall environmental application factor.

7 Specific stress models

7.1 General

The specific stress models for component categories, specified in 7.2 to 7.9, 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).

7.2 Stress factors for integrated circuits

7.2.1 General

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

$$\lambda = \lambda_{\text{ref}} \times \pi_U \times \pi_T \quad \text{for digital CMOS and bipolar analogue integrated circuits} \quad (6)$$

$$\lambda = \lambda_{\text{ref}} \times \pi_T \quad \text{for all other integrated circuits (IC)} \quad (7)$$

The stress factors for voltage and temperature dependence are specified in 7.2.2 and 7.2.3.

7.2.2 Voltage dependence, factor π_U

The voltage dependence is only taken into account for digital CMOS and bipolar analogue integrated circuits, according to equation (2) or equation (3). The constants C_1 , C_2 and C_3 given in table 3 are used, unless other values are stated. The results are shown in tables 4 and 5.

Tableau 3 – Valeurs des constantes

	U_{ref} / U_n	U_{ref}	C_1	C_2	C_3
Circuits intégrés numériques CMOS	–	5 V	0,1 V ⁻¹	1	–
Circuits intégrés analogiques	0,7	–	–	4,4	1,4

Tableau 4 – Facteur de tension π_U pour les circuits intégrés numériques CMOS

Tension de fonctionnement U 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 5 – Facteur de tension π_U pour les circuits intégrés analogiques bipolaires

Rapport de tension U/U_n	≤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

7.2.3 Influence de la température, facteur π_T

La relation d'influence donnée par l'équation (5) ne s'applique qu'aux températures de jonction inférieures à la température nominale spécifiée. On prend les valeurs des constantes A , Ea_1 , Ea_2 du tableau 6, sauf indications contraires. On lit le résultat du calcul aux figures 1 et 2.

Tableau 6 – Valeurs des constantes pour les circuits intégrés

	A	Ea_1 eV	Ea_2 eV	$\theta_{\text{amb,ref}}$ °C
Circuits intégrés, sauf EPROM, OTPROM, EEPROM, EAROM	0,9	0,3	0,7	40
EPROM, OTPROM, EEPROM, EAROM	0,3	0,3	0,6	40

Les figures 1 et 2 donnent la valeur du facteur π_T en fonction de la température équivalente de jonction réelle

$$\theta_2 = \theta_{\text{amb}} + P \times R_{\text{th,amb}} \text{ en degrés Celsius,} \quad (8)$$

et en fonction de la température équivalente de jonction de référence dans les conditions de référence (voir tableau 2)

$$\theta_1 = 40 + \Delta T_{\text{ref}} \text{ en degrés Celsius,} \quad (9)$$

où ΔT_{ref} est mesuré ou calculé à partir de $\Delta T_{\text{ref}} = P_{\text{ref}} \times R_{\text{th,amb}}$.

Table 3 – Constants

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	–
Analogue	0,7	–	–	4,4	1,4

Table 4 – Factor π_U for digital CMOS-family ICs

Operating voltage U (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 5 – Factor π_U for bipolar analogue integrated circuits

Voltage ratio U/U_{rat}	$\leq 0,3$	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

7.2.3 Temperature dependence, factor π_T

The relationship given in equation (5) applies only up to the rated junction temperature. The constants A , Ea_1 and Ea_2 given in table 6 are used, unless other values have been stated. The result is shown in figures 1 and 2.

Table 6 – Constants for integrated circuits

	A	Ea_1 eV	Ea_2 eV	$\theta_{\text{amb,ref}}$ °C
For integrated circuits (without EPROM, OTPROM, EEPROM, EAROM)	0,9	0,3	0,7	40
For EPROM, OTPROM, EEPROM, EAROM	0,3	0,3	0,6	40

The factor π_T is obtained from figures 1 and 2 as a function of the actual virtual (equivalent) junction temperature.

$$\theta_2 = \theta_{\text{amb}} + P \times R_{\text{th,amb}} \quad \text{in degrees Celsius,} \quad (8)$$

and as a function of the virtual (equivalent) junction temperature under reference conditions (see table 2):

$$\theta_1 = 40 + \Delta T_{\text{ref}} \quad \text{in degrees Celsius,} \quad (9)$$

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

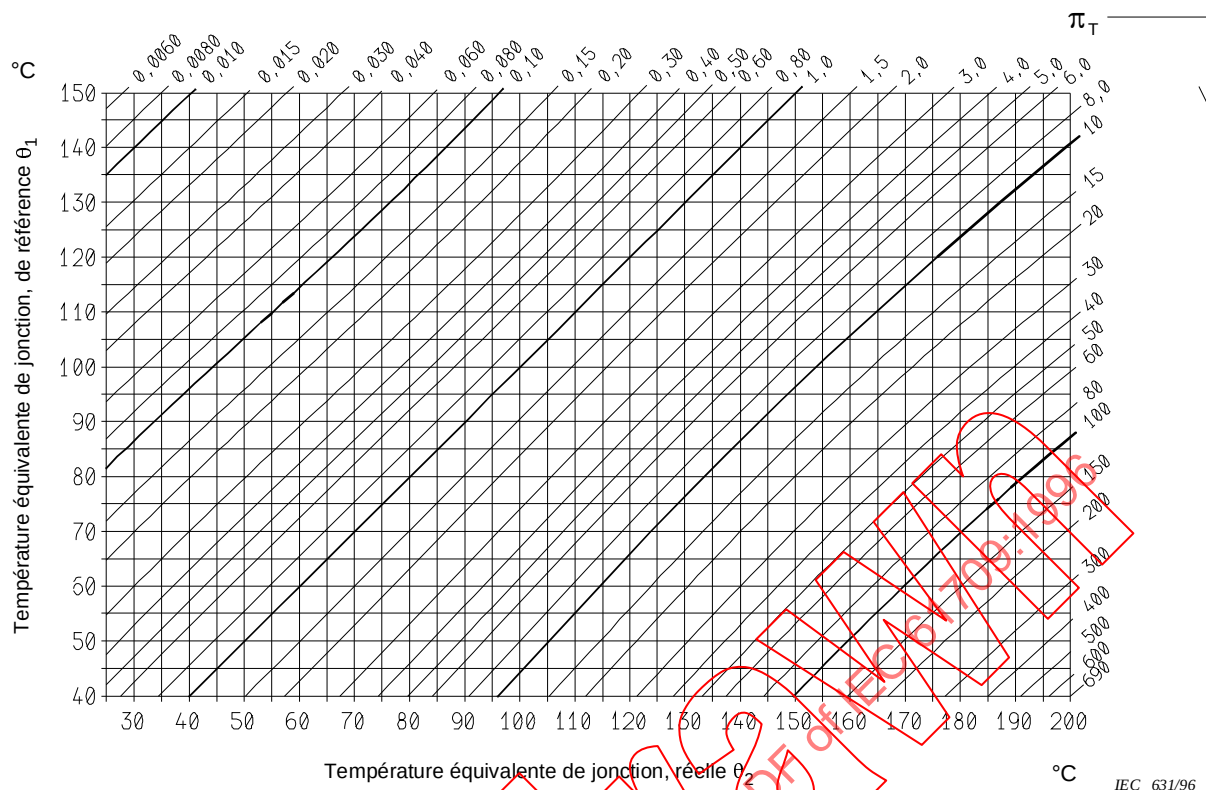


Figure 1 – Facteur π_T pour les circuits intégrés (sauf EPROM, OTPROM, EEPROM, EAROM)

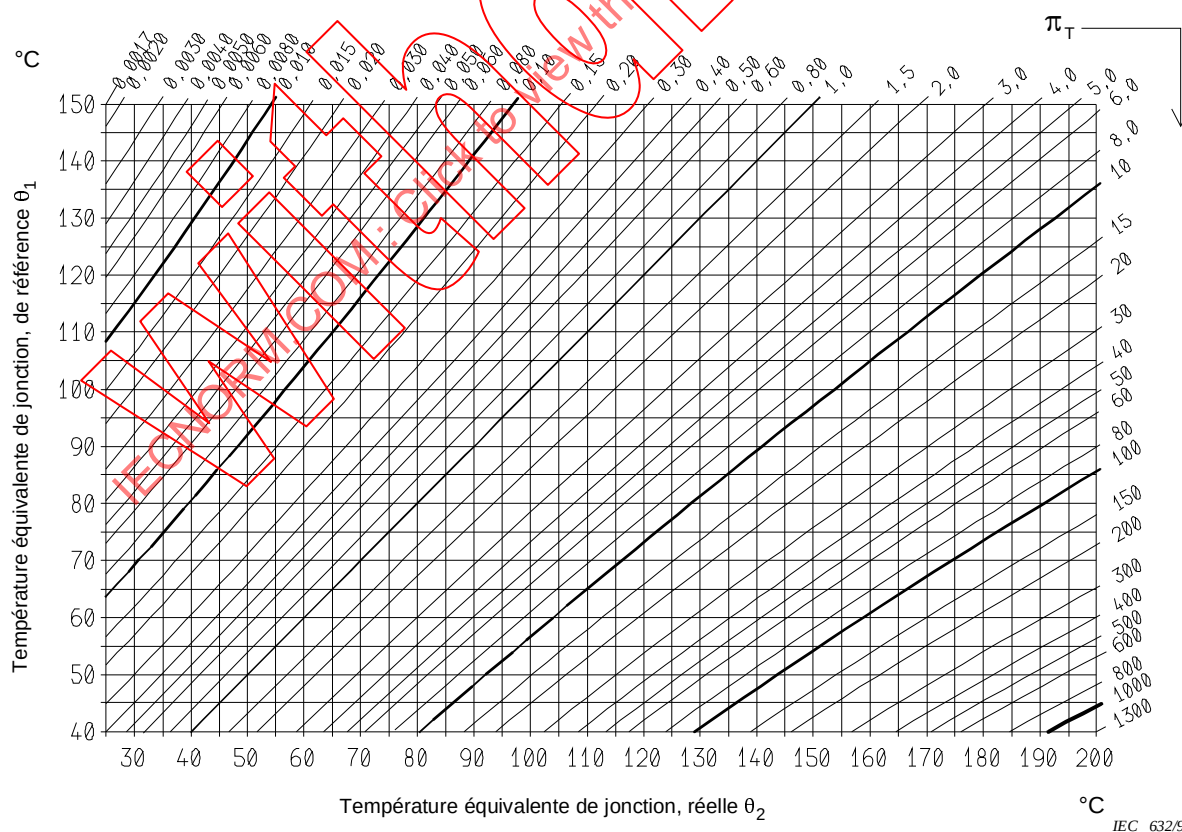


Figure 2 – Facteur π_T pour EPROM, OTPROM, EEPROM, EAROM

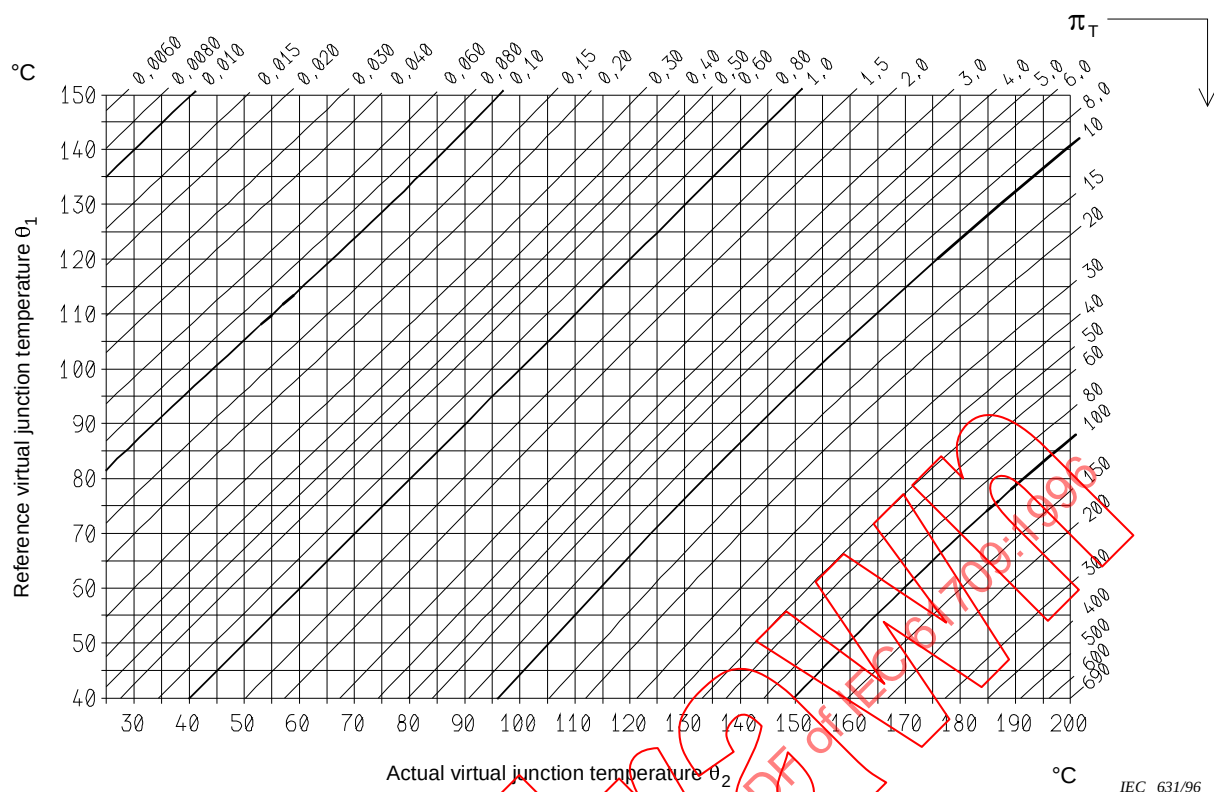


Figure 1 – Factor π_T for IC (without EPROM, OTPROM, EEPROM, EAROM)

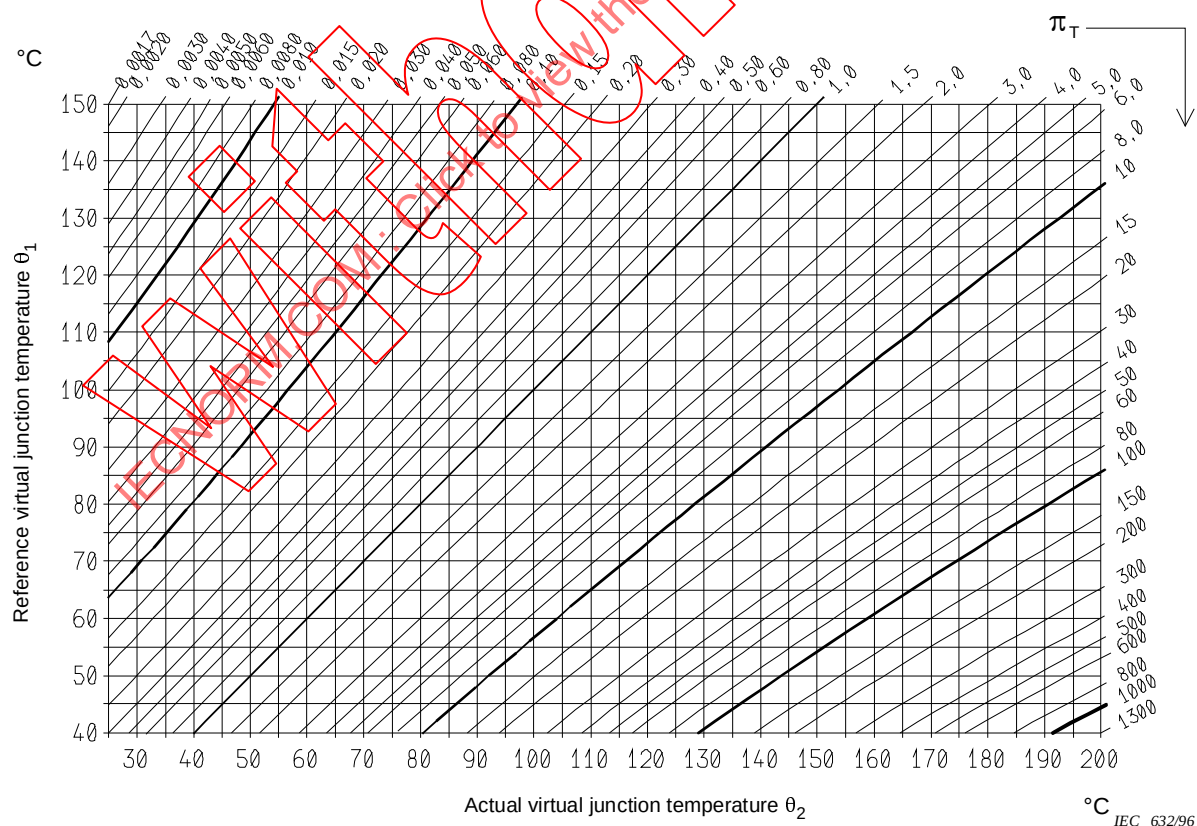


Figure 2 – Factor π_T for EPROM, OTPROM, EEPROM, EAROM

7.3 Facteurs de contraintes pour les composants discrets à semiconducteurs

7.3.1 Généralités

D'après l'équation (1), le taux de défaillance dans les conditions de fonctionnement vaut:

$$\lambda = \lambda_{\text{ref}} \times \pi_U \times \pi_T \quad \text{pour les transistors} \quad (10)$$

$$\lambda = \lambda_{\text{ref}} \times \pi_T \quad \text{pour les diodes}^{1)} \text{ et les dispositifs de puissance à semiconducteurs }^{2)} \quad (11)$$

Les facteurs de contrainte pour la tension et la température sont donnés en 7.3.2 et en 7.3.3.

Le courant peut aussi avoir une influence importante.

7.3.2 Influence de la tension, facteur π_U

On ne prend en compte l'influence de la tension que pour les transistors; la loi d'influence est donnée par l'équation (3). On donne aux constantes C_2 , C_3 les valeurs du tableau 7, sauf indication contraire. Les valeurs du facteur π_U qui en résultent sont données dans le tableau 8.

NOTE – Pour les diodes et les dispositifs de puissance à semiconducteurs $\pi_U = 1$.

Tableau 7 – Valeurs des constantes pour les transistors

U_{ref} / U_n	C_2	C_3
0,5	8,0	1,4

Tableau 8 – Valeurs du facteur π_U pour les transistors

Rapport de tension U / U_n	$\leq 0,6$	0,7	0,8	0,9	1,0
Facteur π_U	1,0	1,1	1,3	1,8	4,0

7.3.3 Influence de la température, facteur π_T

La relation donnée par l'équation (5) ne s'applique qu'à des températures inférieures ou égales à la température de jonction maximale spécifiée. On donne aux constantes A , Ea_1 , Ea_2 les valeurs du tableau 9 sauf indication contraire. On lit le résultat du calcul aux figures 3 et 4.

Tableau 9 – Valeurs des constantes pour les composants discrets à semiconducteurs

	A	Ea_1 eV	Ea_2 eV	$\theta_{\text{amb,ref}}$ °C
Transistors, diodes de référence, diodes pour hyperfréquences	0,9	0,3	0,7	40
Diodes d'usage général, diodes Schottky, diodes régulatrices, diodes Zéner	1,0	0,4	-	40
Semiconducteurs de puissance*				
* Diodes de redressement, ponts redresseurs, diodes Schottky, thyristors, triacs, diacs.				

1) Diodes d'usage général, diodes Schottky, diodes régulatrices et diodes Zéner

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

7.3 Stress factors for discrete semiconductors

7.3.1 General

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

$$\lambda = \lambda_{\text{ref}} \times \pi_U \times \pi_T \quad \text{for transistors} \quad (10)$$

$$\lambda = \lambda_{\text{ref}} \times \pi_T \quad \text{for diodes } ^1 \text{ and power semiconductors } ^2 \quad (11)$$

The stress factors for voltage and temperature dependence are given in 7.3.2 and 7.3.3. Current may also be a significant factor.

7.3.2 Voltage dependence, factor π_U

The voltage dependence is only taken into account for transistors according to equation (3). The constants C_2 and C_3 given in table 7 are used, unless other values are stated. The results are shown in table 8.

NOTE – For diodes and power semiconductors, $\pi_U = 1$.

Table 7 – Constants for transistors

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

Table 8 – Factor π_U for transistors

Voltage ratio U / U_{rat}	$\leq 0,6$	0,7	0,8	0,9	1,0
Factor π_U	1,0	1,1	1,3	1,8	4,0

7.3.3 Temperature dependence, factor π_T

The relationship given in equation (5) applies only up to the maximum permissible junction temperature. The constants A , Ea_1 and Ea_2 given in table 9 are used, unless other values have been stated. The results are shown in figures 3 and 4.

Table 9 – Constants for discrete semiconductors

	A	Ea_1 eV	Ea_2 eV	$\theta_{\text{amb,ref}}$ °C
Transistors, reference and microwave diodes	0,9	0,3	0,7	40
General-purpose diodes, Schottky diodes, voltage regulators and Zener diodes, power semiconductors *	1,0	0,4	–	40
* Rectifier diodes, bridge rectifiers, Schottky diodes, thyristors, triacs and diacs.				

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

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

Les figures 3 et 4 donnent la valeur du facteur π_T en fonction de la température de jonction réelle

$$\theta_2 = \theta_{amb} + P \times R_{th,amb} \text{ en degrés Celsius,} \quad (12)$$

et en fonction de la température de jonction de référence (voir tableau 2):

$$\theta_1 = 40 + \Delta T_{ref} \text{ en degrés Celsius.} \quad (13)$$

ΔT_{ref} est mesuré ou calculé à partir de $\Delta T_{ref} = P_{ref} \times R_{th,amb}$.

7.4 Facteurs de contraintes pour les composants optoélectroniques

7.4.1 Généralités

Le taux de défaillance dans les conditions de fonctionnement est donné conformément à l'équation (1) par les équations suivantes:

$$\lambda = \lambda_{ref} \times \pi_U \times \pi_T \quad \text{pour les phototransistors} \quad (14)$$

$$\lambda = \lambda_{ref} \times \pi_T \quad \text{pour les photodiodes, les photorécepteurs, les cellules photoélectriques et les photocoupleurs} \quad (15)$$

$$\lambda = \lambda_{ref} \times \pi_i \times \pi_T \quad \text{pour les diodes électroluminescentes en lumière visible (LED) et infrarouge (IRED)} \quad (16)$$

Les facteurs d'influence de tension, courant et de température sont donnés de 7.4.2 à 7.4.4.

7.4.2 Influence de la tension, facteur π_U

On ne prend en compte l'influence de la tension que pour les phototransistors; la loi d'influence est donnée par l'équation (3). On donne aux constantes C_2 , C_3 les valeurs du tableau 10 sauf indication contraire. Les valeurs du facteur π_U qui en résultent sont données au tableau 11.

Tableau 10 – Valeurs des constantes pour les phototransistors

U_{ref} / U_n	C_2	C_3
0,5	8,0	1,4

Tableau 11 – Facteur π_U pour les phototransistors

Rapport de tension U / U_n	$\leq 0,6$	0,7	0,8	0,9	1,0
Facteur π_U	1,0	1,1	1,3	1,8	4,0

The factor π_T is obtained from figures 3 and 4 as a function of the actual junction temperature:

$$\theta_2 = \theta_{\text{amb}} + P \times R_{\text{th,amb}} \text{ in degrees Celsius,} \quad (12)$$

and as a function of the junction temperature under reference conditions (see table 2):

$$\theta_1 = 40 + \Delta T_{\text{ref}} \text{ in degrees Celsius} \quad (13)$$

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

7.4 Stress factors for optoelectronic components

7.4.1 General

The failure rate under operating conditions according to equation (1) is:

$$\lambda = \lambda_{\text{ref}} \times \pi_U \times \pi_T \text{ for phototransistors} \quad (14)$$

$$\lambda = \lambda_{\text{ref}} \times \pi_T \text{ for photodiodes, photoreceptors, photocells and optocouplers} \quad (15)$$

$$\lambda = \lambda_{\text{ref}} \times \pi_i \times \pi_T \text{ for light-emitting diodes (LEDs) and infrared-emitting diodes (IREDS).} \quad (16)$$

The stress factors for voltage, current, and temperature dependence are given in 7.4.2 to 7.4.4.

7.4.2 Voltage dependence, factor π_U

The voltage dependence is only taken into account for phototransistors according to equation (3). The constants C_2 and C_3 given in table 10 are used, unless other values are stated. The results are shown in table 11.

Table 10 – Constants for phototransistors

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

Table 11 – Factor π_U for phototransistors

Voltage ratio U / U_{rat}	$\leq 0,6$	0,7	0,8	0,9	1,0
Factor π_U	1,0	1,1	1,3	1,8	4,0

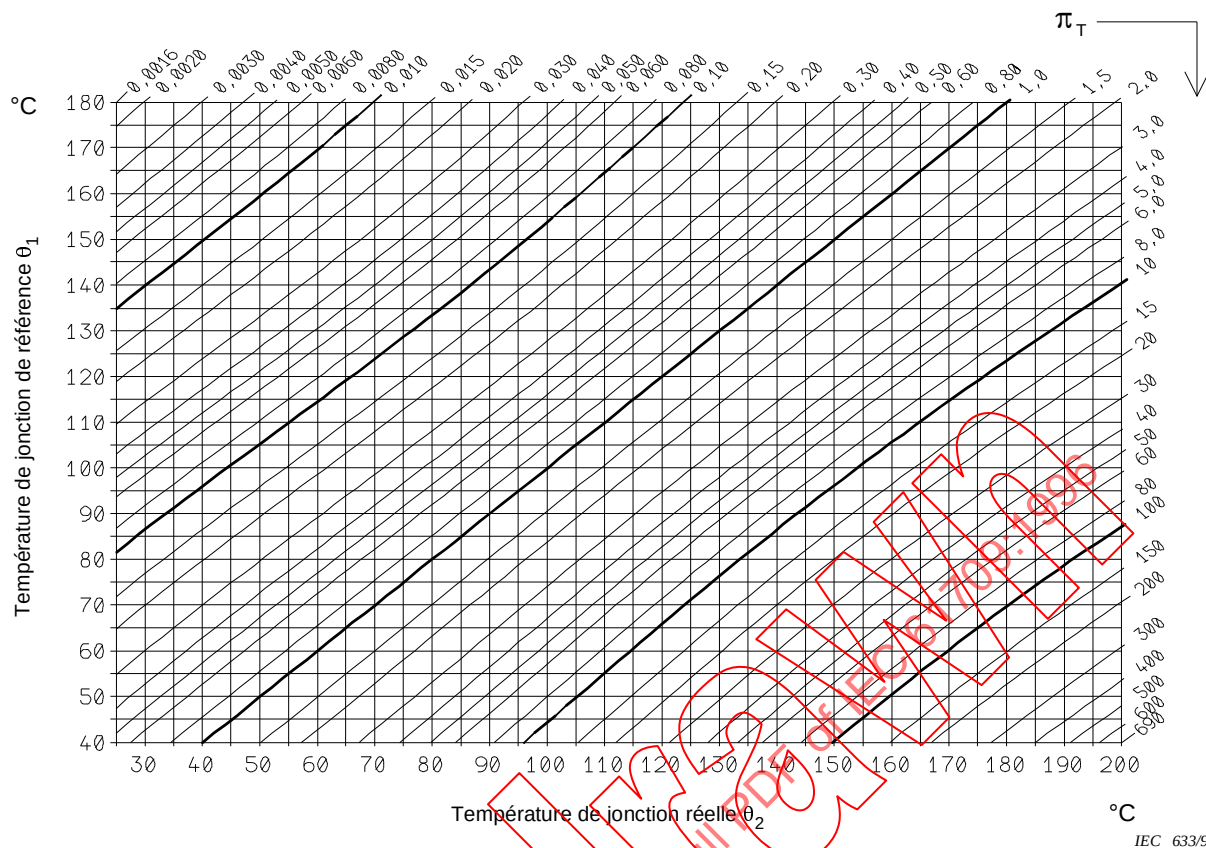


Figure 3 – Facteur π_T pour les transistors, les diodes de référence et les diodes pour hyperfréquences

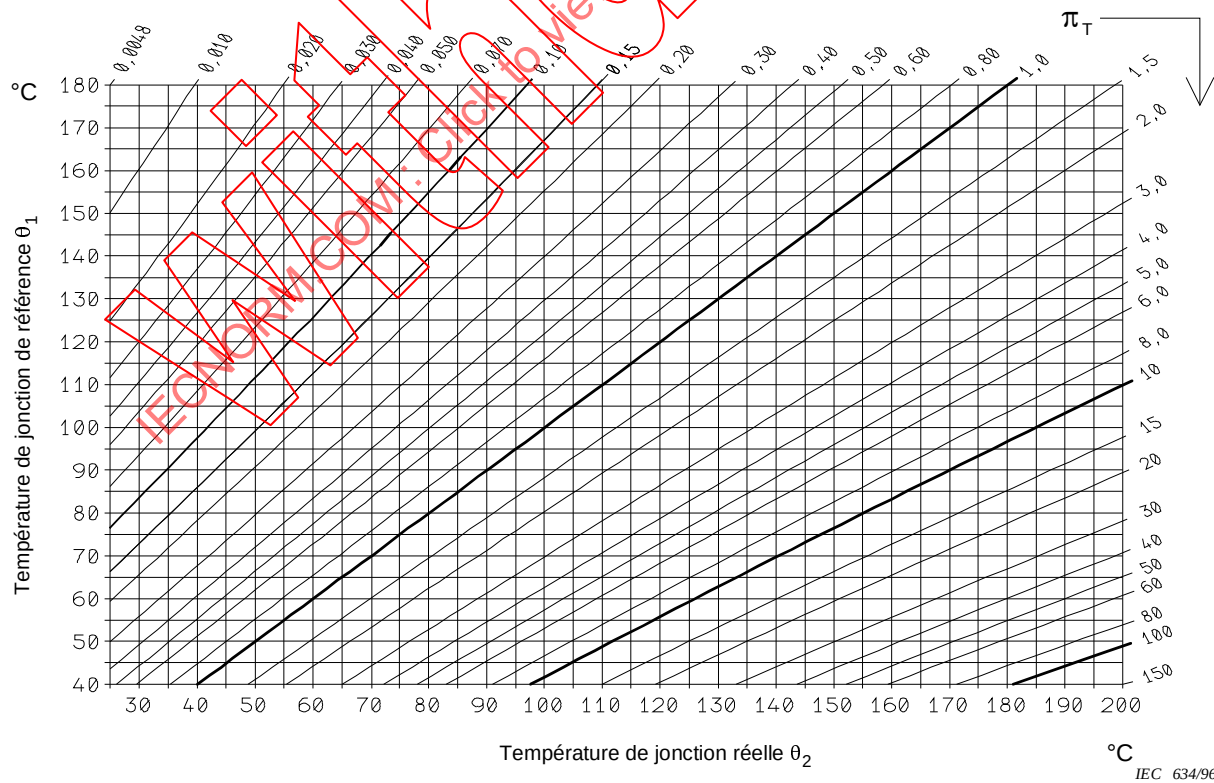


Figure 4 – Facteur π_T pour les diodes d'usage général, les diodes Schottky, les diodes régulatrices et les diodes Zéner, les composants de puissance à semiconducteurs

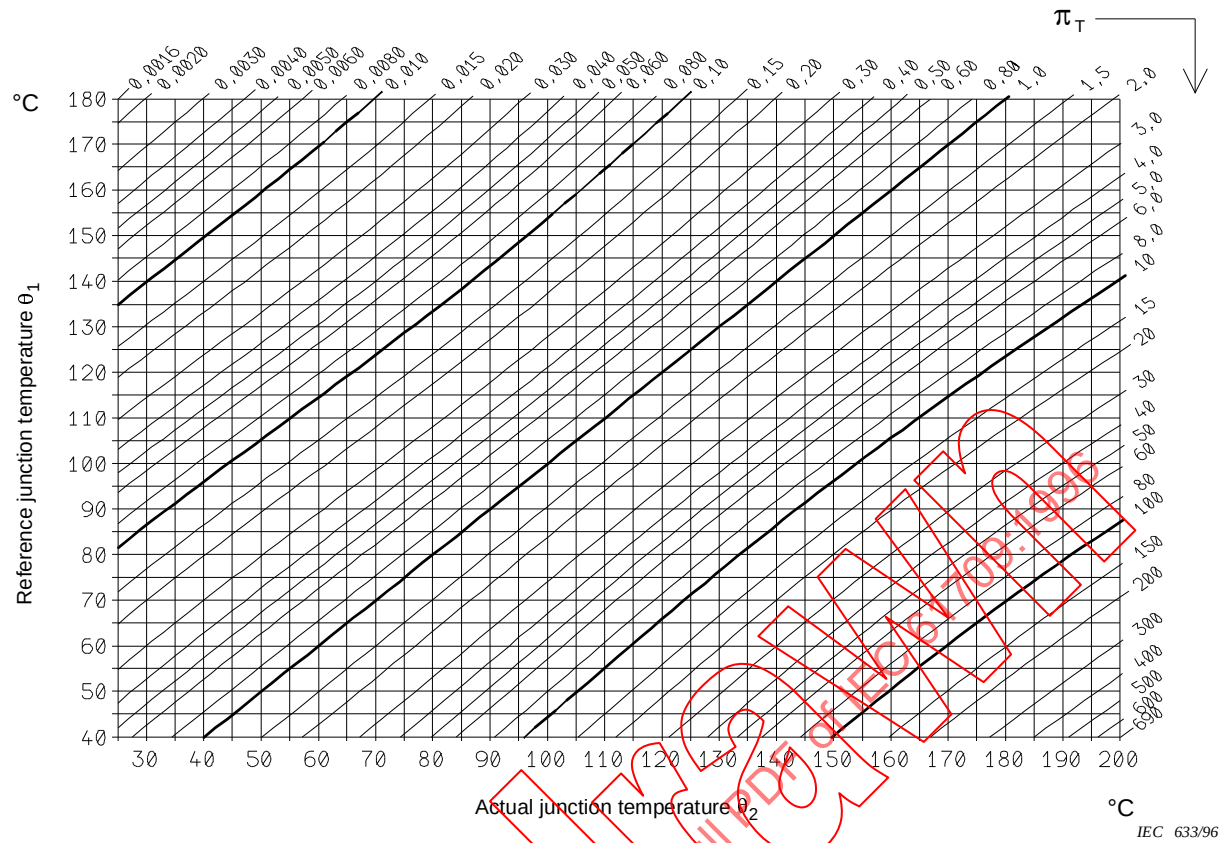


Figure 3 – Factor π_T for transistors, reference and microwave diodes

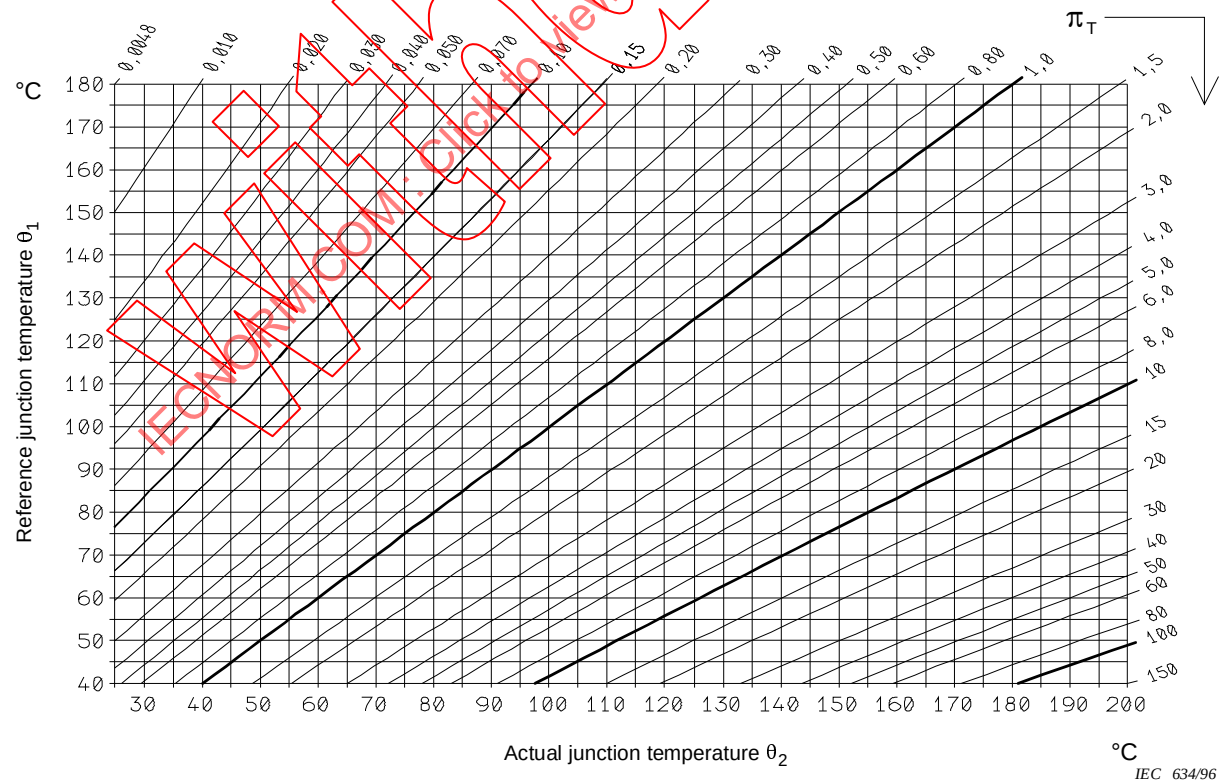


Figure 4 – Factor π_T for general-purpose diodes, Schottky diodes, voltage regulators and Zener diodes, power semiconductors

7.4.3 Influence du courant, facteur π_I

On ne prend en compte l'influence du courant que pour les diodes électroluminescentes en lumière visible (LED) et infrarouge (IRED); la loi d'influence est donnée par l'équation (4). On donne aux constantes C_4 , C_5 les valeurs du tableau 12 sauf indication contraire. Les valeurs du facteur π_I qui en résultent sont données dans le tableau 13.

Tableau 12 – Valeurs des constantes pour les diodes électroluminescentes (LED, IRED)

I_{ref} / I_n	C_4	C_5
0,5	1,4	8,0

Tableau 13 – Facteur π_I pour les diodes électroluminescentes (LED, IRED)

Rapport de tension I / I_n	$\leq 0,6$	0,7	0,8	0,9	1,0
Facteur π_I	1,0	1,1	1,3	1,8	4,0

7.4.4 Influence de la température, facteur π_T

La relation donnée par l'équation (5) ne s'applique qu'à des températures inférieures ou égales à la température de jonction maximale spécifiée. On donne aux constantes A , Ea_1 , Ea_2 les valeurs du tableau 14, sauf indication contraire. On lit le résultat du calcul sur les figures 5 et 6.

Tableau 14 – Valeurs des constantes pour les composants optoélectroniques

	A	Ea_1 eV	Ea_2 eV	$\theta_{amb,ref}$ °C
Diodes électroluminescentes LED, IRED, photocoupleurs	1,0	0,65	–	40
Phototransistors, photodiodes, photorésistances, cellules photoélectriques	1,0	0,30	–	40

Les figures 5 et 6 donnent la valeur du facteur π_T en fonction de la température de jonction réelle

$$\theta_2 = \theta_{amb} + P \times R_{th,amb} \text{ en degrés Celsius,} \quad (17)$$

et en fonction de la température de jonction de référence (voir tableau 2):

$$\theta_1 = 40 + \Delta T_{ref} \text{ en degrés Celsius,} \quad (18)$$

où ΔT_{ref} est mesuré ou calculé à partir de $\Delta T_{ref} = P_{ref} \times R_{th,amb}$.

7.4.3 Current dependence, factor π_I

The current dependence is only taken into account for LEDs and IREDs, according to equation (4). The constants C_4 and C_5 given in table 12 are used, unless other values are stated. The results are shown in table 13.

Table 12 – Constants for LEDs and IREDs

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

Table 13 – Factor π_I for LEDs and IREDs

Current ratio I / I_{rat}	$\leq 0,6$	0,7	0,8	0,9	1,0
Factor π_I	1,0	1,1	1,3	1,8	4,0

7.4.4 Temperature dependence, factor π_T

The relationship given in equation (5) applies only up to the maximum permissible junction temperature. The constants A , Ea_1 and Ea_2 given in table 14 are used, unless other values have been stated. The results are shown in figures 5 and 6.

Table 14 – Constants for optoelectronic components

	A	Ea_1 eV	Ea_2 eV	$\theta_{\text{amb,ref}}$ °C
LEDs and IREDs, optocouplers	1,0	0,65	–	40
Phototransistors, photodiodes, photoresistors, photocells	1,0	0,30	–	40

The factor π_T is obtained from figures 5 and 6 as a function of the actual junction temperature:

$$\theta_2 = \theta_{\text{amb}} + P \times R_{\text{th,amb}} \text{ in degrees Celsius,} \quad (17)$$

and as a function of the junction temperature under reference conditions (see table 2):

$$\theta_1 = 40 + \Delta T_{\text{ref}} \text{ in degrees Celsius,} \quad (18)$$

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

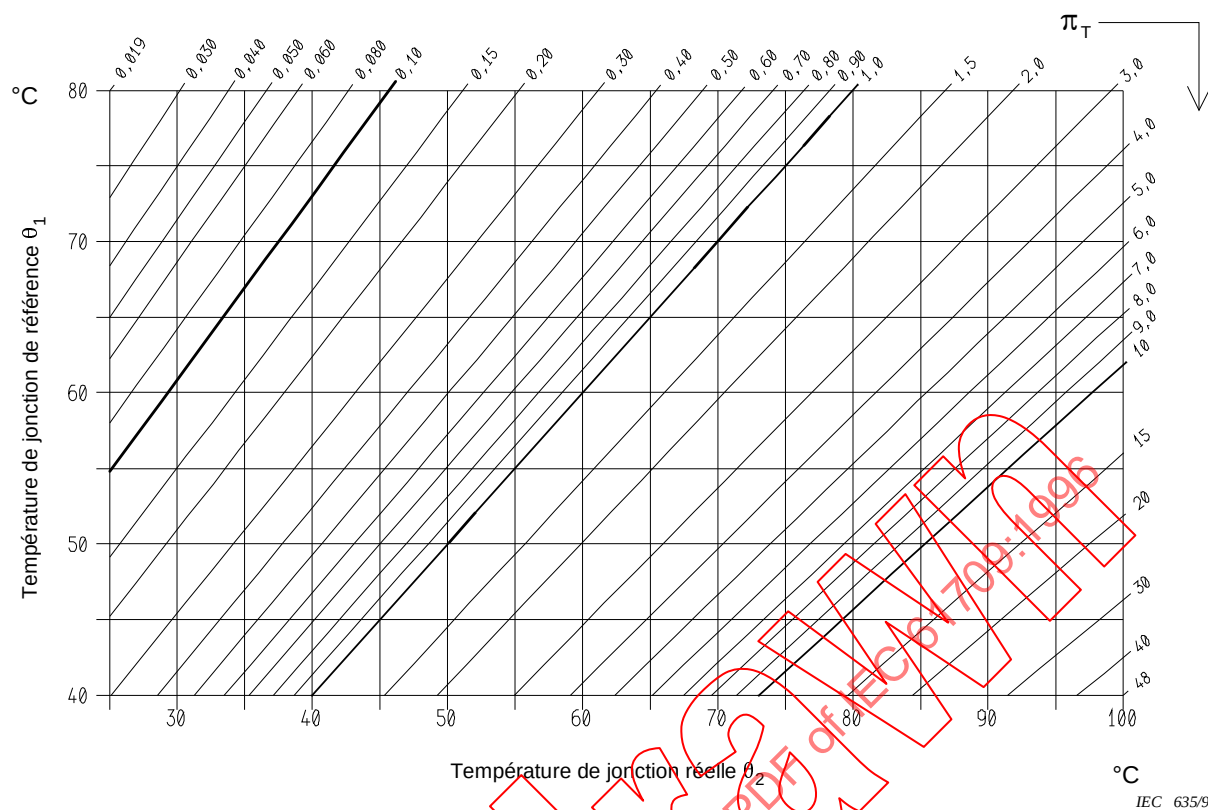


Figure 5 – Facteur π_T pour les diodes électroluminescentes LED, IRED et les photocoupleurs

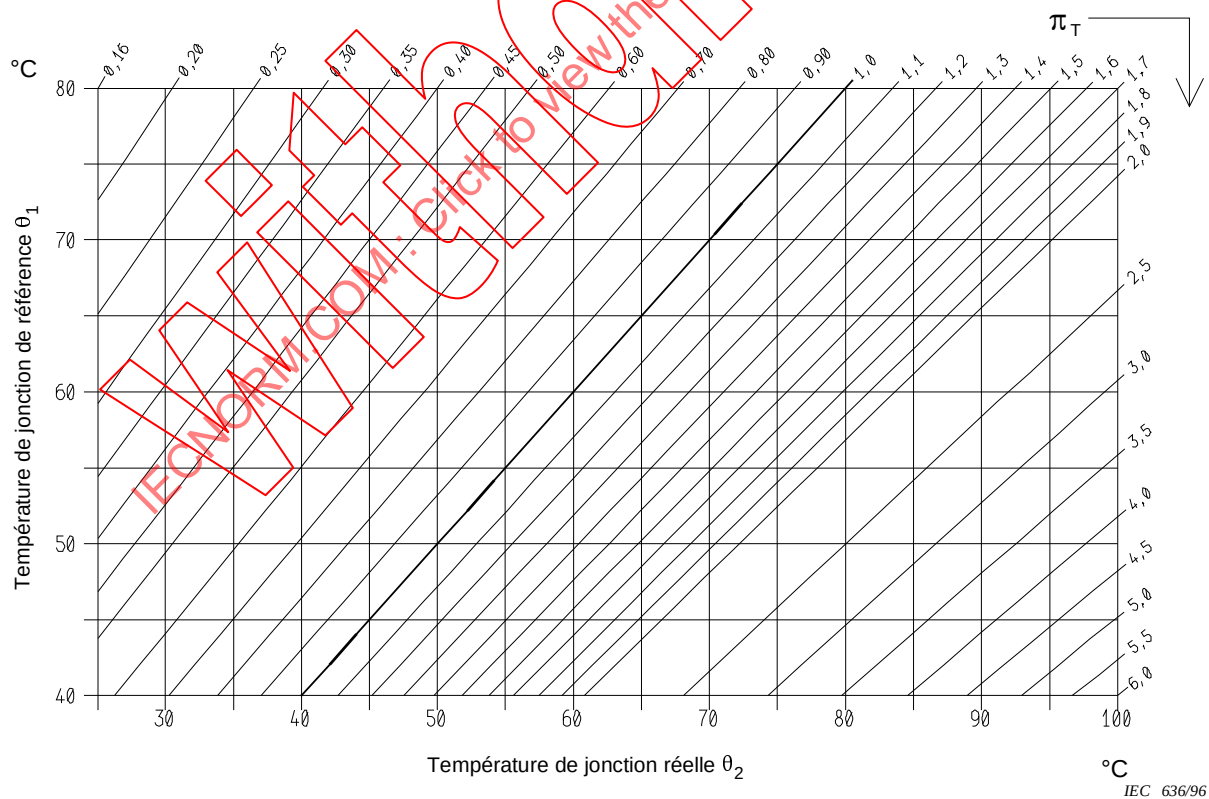


Figure 6 – Facteur π_T pour les phototransistors, les photodiodes, les photorésistances et les cellules photoélectriques

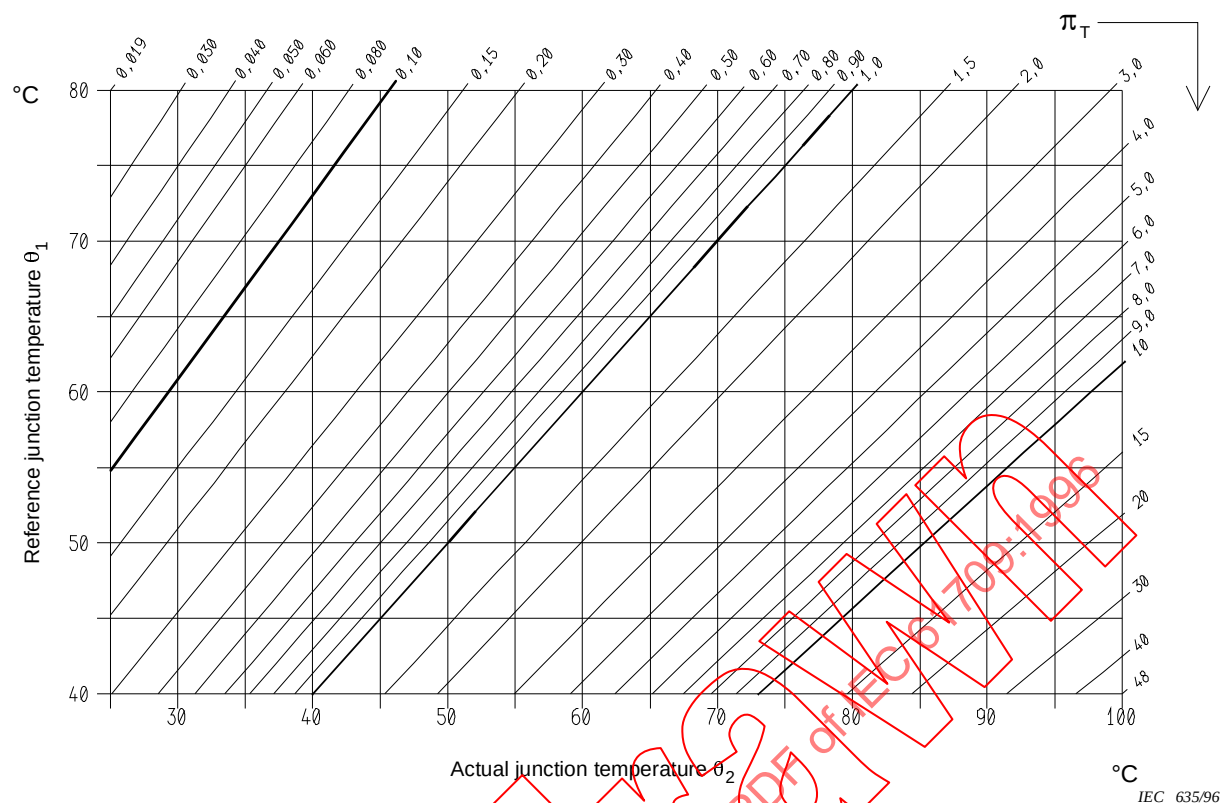


Figure 5 – Factor π_T for LEDs, IREDs and optocouplers

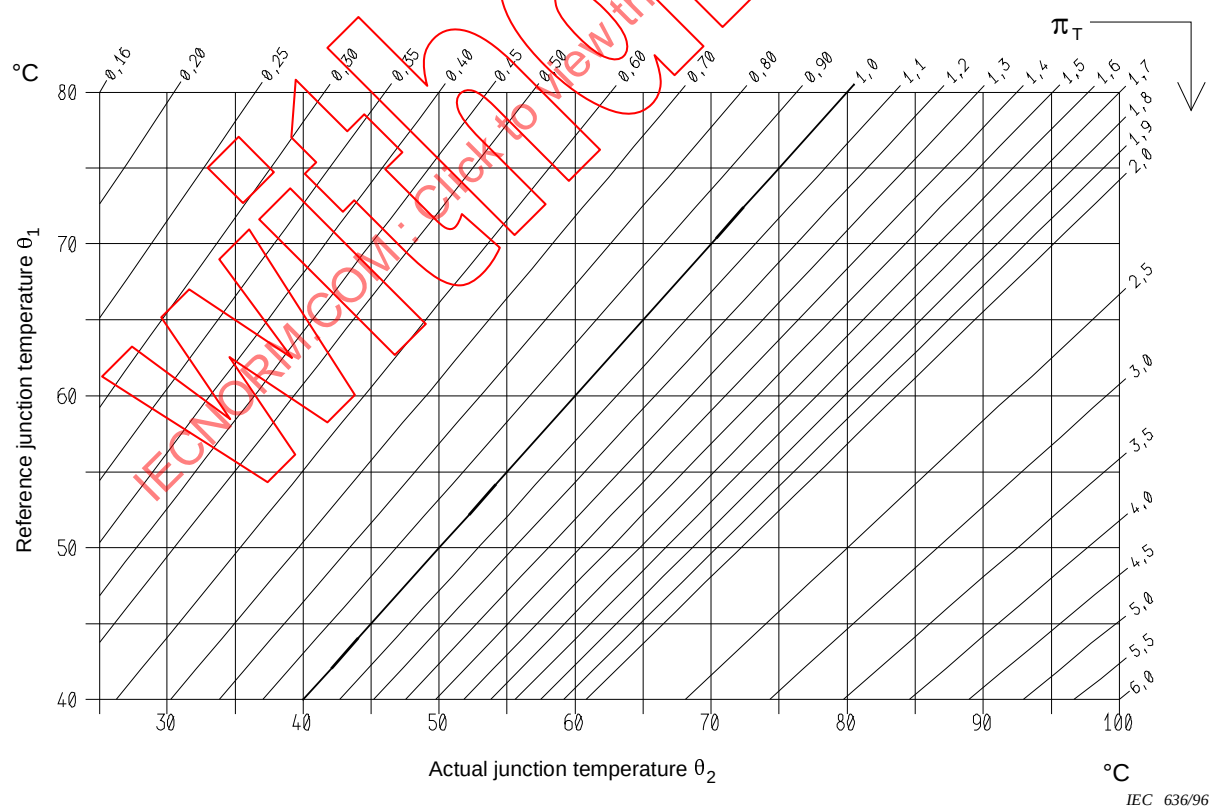


Figure 6 – Factor π_T for phototransistors, photodiodes, photoresistors and photocells

7.5 Facteurs de contraintes pour les composants passifs

7.5.1 Généralités

D'après l'équation (1), le taux de défaillance dans les conditions de fonctionnement est donné par les équations suivantes:

$$\lambda = \lambda_{\text{ref}} \times \pi_U \times \pi_T \quad \text{pour les condensateurs } ^1) \quad (19)$$

$$\lambda = \lambda_{\text{ref}} \times \pi_T \quad \text{pour les résistances, les inductances et les transformateurs} \quad (20)$$

7.5.2 Influence de la tension, facteur π_U

On ne prend en compte l'influence de la tension que pour les condensateurs fixes; la loi d'influence est donnée par l'équation (3). Pour les condensateurs variables on prend $\pi_U = 1$. On donne aux constantes C_2 , C_3 les valeurs du tableau 15, sauf indication contraire. Les valeurs du facteur π_U qui en résultent sont données dans le tableau 16.

Tableau 15 -- Valeur des constantes pour les condensateurs (influence de la tension)

Type de condensateur	U_{ref} / U_n	C_2	C_3
Au papier, au papier métallisé	0,5	1,07	3,45
A film de polypropylène métallisé			
A film de polytéréphtalate d'éthylène métallisé			
A film d'acétate de cellulose métallisé			
A film de polycarbonate, à armatures à feuilles métalliques	0,5	1,50	4,56
A film de polycarbonate métallisé			
A film de polystyrène	0,5	1,29	4,0
A film de polytéréphtalate d'éthylène à armatures à feuilles métalliques			
A film de polypropylène, à armatures à feuilles métalliques			
Au verre	0,5	1,11	4,33
Au mica	0,5	1,12	2,98
En 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

¹⁾ Les condensateurs électrolytiques à l'aluminium, à électrolyte liquide sont des composants électrotechniques ayant une gamme technologique particulièrement large. Les valeurs des constantes et des facteurs données ici ne sont donc que des estimations. Des valeurs plus spécifiques peuvent être données dans les spécifications particulières ou résulter d'un accord entre fabricant et utilisateur.

7.5 Stress factors for passive components

7.5.1 General

The failure rate under operating conditions according to equation (1) is:

$$\lambda = \lambda_{\text{ref}} \times \pi_U \times \pi_T \quad \text{for capacitors } ^1) \quad (19)$$

$$\lambda = \lambda_{\text{ref}} \times \pi_T \quad \text{for resistors, inductors and transformers} \quad (20)$$

7.5.2 Voltage dependence, factor π_U

The voltage dependence is only taken into account for fixed capacitors, according to equation (3). For variable capacitors, $\pi_U = 1$. The constants C_2 and C_3 given in table 15 are used, unless other values are stated. The results are shown in table 16.

**Table 15 – Constants for capacitors
(voltage dependence)**

Type of capacitor	$U_{\text{ref}} / U_{\text{rat}}$	C_2	C_3
Paper, metallized paper	0,5	1,07	3,45
Metallized polypropylene film			
Metallized polyethylene-terephthalate film			
Metallized cellulose acetate film			
Polycarbonate film metal foil	0,5	1,50	4,56
Metallized polycarbonate film			
Polystyrene film	0,5	1,29	4,0
Polyethylene terephthalate film metal foil			
Polypropylene film metal foil			
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

¹⁾ 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 16 – Facteur π_U pour les condensateurs

Type de condensateur	Valeurs du facteur π_U pour U / U_n									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Au papier, au papier métallisé										
A film de propylène métallisé	0,26	0,36	0,50	0,71	1,0	1,40	2,0	2,9	4,2	6,1
A film de polytéréphtalate d'éthylène métallisé										
A film d'acétate de cellulose métallisé										
A film de polycarbonate, à armatures à feuilles métalliques	0,23	0,30	0,42	0,63	1,0	1,7	2,9	5,2	9,8	19,0
A film de polycarbonate métallisé										
A film de polystyrène										
A film de polytéréphtalate d'éthylène à armatures à feuilles métalliques	0,24	0,32	0,45	0,66	1,0	1,5	2,4	3,9	6,4	11,0
A film de polypropylène, à armatures à feuilles métalliques										
Au verre	0,19	0,28	0,42	0,64	1,0	1,6	2,5	4,0	6,3	10,0
Au mica	0,32	0,42	0,55	0,74	1,0	1,4	1,9	2,6	3,6	5,0
En céramique	0,20	0,30	0,45	0,67	1,0	1,5	2,2	3,3	5,0	7,4
Electrolytique aluminium, électrolyte liquide	0,39	0,44	0,51	0,58	0,67	0,76	0,87	1,0	1,2	1,3
Electrolytique 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	20,0	56,0	154,0

7.5.3 Influence de la température, facteur π_T pour les condensateurs

La relation donnée par l'équation (5) ne s'applique qu'à des températures inférieures ou égales à la température du composant maximale spécifiée. On donne aux constantes A , Ea_1 , Ea_2 les valeurs du tableau 17, sauf indication contraire. Le tableau 18 donne les résultats du calcul.

Table 16 – Factor π_U for capacitors

Type of capacitor	Factor π_U for U / U_{rat}									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Paper, metallized paper	0,26	0,36	0,50	0,71	1,0	1,40	2,0	2,9	4,2	6,1
Metallized polypropylene film										
Metallized polyethylene-terephthalate film										
Metallized cellulose acetate film										
Polycarbonate film metal foil	0,23	0,30	0,42	0,63	1,0	1,7	2,9	5,2	9,8	19,0
Metallized polycarbonate film										
Polystyrene film	0,24	0,32	0,45	0,66	1,0	1,5	2,4	3,9	6,4	11,0
Polyethylene terephthalate film metal foil										
Polypropylene film metal foil										
Glass	0,19	0,28	0,42	0,64	1,0	1,6	2,5	4,0	6,3	10,0
Mica	0,32	0,42	0,55	0,74	1,0	1,4	1,9	2,6	3,6	5,0
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	20,0	56,0	154,0

7.5.3 Temperature dependence, factor π_T for capacitors

The relationship given in equation (5) applies only up to the maximum permissible component temperature. The constants A , Ea_1 and Ea_2 given in table 17 are used, unless other values have been stated. The results are shown in table 18.

**Tableau 17 – Valeurs des constantes pour les condensateurs
(influence de la température)**

Type de condensateur	A	Ea_1 eV	Ea_2 eV	$\theta_{amb,ref}$ °C
Au papier	0,999	0,5	1,59	40
Au papier métallisé				
A film de polystyrène				
A film de polytéréphtalate d'éthylène à armatures à feuilles métalliques				
A film de polypropylène à armatures à feuilles métalliques				
A film de polypropylène métallisé				
A film de polytéréphtalate d'éthylène métallisé				
A film d'acétate de cellulose métallisé				
A film de polycarbonate à armatures à feuilles métalliques	0,998	0,57	1,63	40
A film de polycarbonate métallisé				
Au verre, au mica	0,86	0,27	0,84	40
En céramique	1,0	0,35	–	40
Electrolytique aluminium, électrolyte liquide	0,87	0,5	0,95	40
Electrolytique aluminium, électrolyte solide	0,40	0,14	0	40
Electrolytique, au tantale, électrolyte liquide	0,35	0,54	0	40
Electrolytique, au tantale, électrolyte solide	0,961	0,27	1,1	40
Variable	1,0	0,15	–	40

Le tableau 18 donne le facteur π_T en fonction de la température réelle du condensateur:

$$\theta_2 = \theta_{amb} + \Delta T \text{ en degrés Celsius,} \quad (21)$$

où ΔT est l'échauffement propre du condensateur dû à son fonctionnement;

et en fonction de la température de référence du condensateur dans les conditions de référence:

$$\theta_1 = 40 \text{ °C.} \quad (22)$$

**Table 17 – Constants for capacitors
(temperature dependence)**

Type of capacitor	A	Ea_1 eV	Ea_2 eV	$\theta_{amb,ref}$ °C
Paper	0,999	0,5	1,59	40
Metallized paper				
Polystyrene film				
Polyethylene terephthalate film metal foil				
Polypropylene film metal foil				
Metallized polypropylene film				
Metallized polyethylene-terephthalate film				
Metallized cellulose acetate film				
Polycarbonate film metal foil	0,998	0,57	1,63	40
Metallized polycarbonate film				
Glass, mica	0,86	0,27	0,84	40
Ceramic	1,0	0,35	–	40
Aluminium electrolytic, non-solid electrolyte	0,87	0,5	0,95	40
Aluminium electrolytic, solid electrolyte	0,40	0,14	0	40
Tantalum electrolytic, non-solid electrolyte	0,35	0,54	0	40
Tantalum electrolytic, solid electrolyte	0,961	0,27	1,1	40
Variable	1,0	0,15	–	40

The factor π_T is obtained from table 18 as a function of the actual capacitor temperature:

$$\theta_2 = \theta_{amb} + \Delta T \text{ in degrees Celsius,} \quad (21)$$

where ΔT is the temperature change due to operating conditions;

and as a function of the capacitor temperature under reference conditions:

$$\theta_1 = 40 \text{ } ^\circ\text{C.} \quad (22)$$

Tableau 18 – Facteur π_T pour les condensateurs

Type de condensateur	Température du condensateur dans les conditions de référence	Facteur π_T pour la température du condensateur réelle θ_2^*													
	θ_1 (°C)	20	30	40	50	60	70	80	85	90	100	105	110	120	125
Au papier métallisé	40	0,28	0,54	1,0	1,8	3,1	5,2	9	12	16	33	49	77	210	350
A film de polystyrène															
A film de polytéréphtalate d'éthylène à feuilles métalliques															
A film de polypropylène à feuilles métalliques															
A film de polypropylène métallisé															
A film de polytéréphtalate d'éthylène métallisé															
A film d'acétate de cellulose métallisé															
A film de polycarbonate à feuilles métalliques	40	0,24	0,50	1,0	1,9	3,6	6,7	13	18	27	63	100	170	510	900
A film de polycarbonate métallisé															
Au verre, au mica	40	0,45	0,67	1,0	1,5	2,5	4,2	7,5	10	-	-	-	-	-	-
En 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
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

* La relation donnée ne s'applique qu'à des températures du condensateur inférieures ou égales à la température maximale admissible.

Table 18 – Factor π_T for capacitors

Type of capacitor	Capacitor temperature under reference conditions	Factor π_T for actual capacitor temperature θ_2 *													
		°C													
	θ_1 (°C)	20	30	40	50	60	70	80	85	90	100	105	110	120	125
Metallized paper	40	0,28	0,54	1,0	1,8	3,1	5,2	9	12	16	33	49	77	210	350
Polystyrene film															
Polyethylene terephthalate film metal foil															
Polypropylene film metal foil															
Metallized polypropylene film															
Metallized polyethylene-terephthalate film															
Metallized cellulose acetate film															
Polycarbonate film metal foil	40	0,24	0,50	1,0	1,9	3,6	6,7	13	18	27	63	100	170	510	900
Metallized polycarbonate film															
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

* The relationship given applies only up to the maximum permissible capacitor temperature.

7.5.4 Influence de la température, facteur π_T pour les résistances

La relation donnée par l'équation (5) ne s'applique qu'à des températures inférieures ou égales à la température maximale spécifiée de l'élément résistif. On donne aux constantes A , Ea_1 , Ea_2 les valeurs du tableau 19, sauf indication contraire. On lit le résultat du calcul à la figure 7.

Tableau 19 – Valeurs des constantes pour les résistances

A	Ea_1 eV	Ea_2 eV	$\theta_{amb,ref}$ °C
0,873	0,16	0,44	40

La figure 7 donne la valeur du facteur π_T en fonction de la température moyenne réelle de l'élément résistif

$$\theta_2 = \theta_{amb} + \Delta T \text{ en degrés Celsius} \quad (23)$$

où $\Delta T = P \times R_{th,amb} = (\theta_{max} - 40) \times (P/P_n)$ en degrés Celsius est l'élévation de température en fonctionnement (avec θ_{max} , température maximale spécifiée de l'élément résistif);

et en fonction de la température moyenne de l'élément résistif dans les conditions de référence (voir tableau 2):

$$\theta_1 = 40 \text{ °C} + \Delta T_{ref} \text{ en degrés Celsius} \quad (24)$$

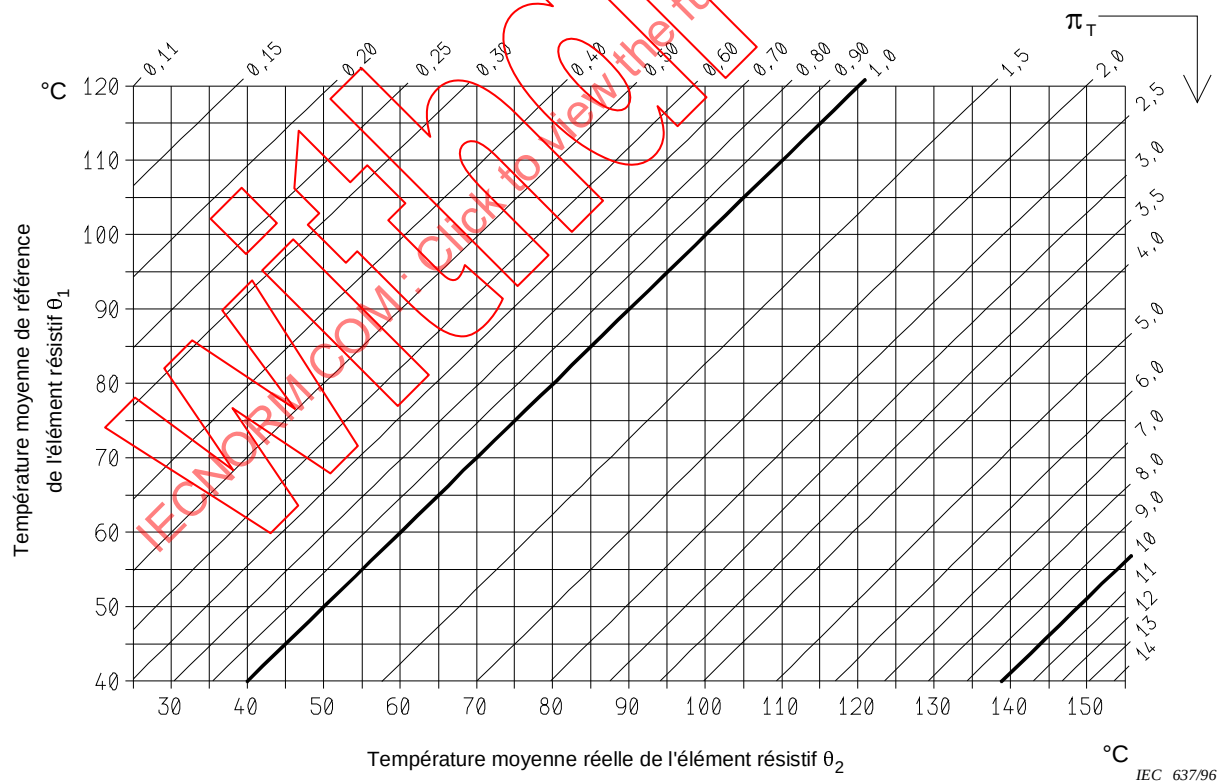


Figure 7 – Facteur π_T pour les résistances

7.5.4 Temperature dependence, factor π_T for resistors

The relationship given in equation (5) applies only up to the maximum permissible resistor element temperature. The constants A , Ea_1 and Ea_2 given in table 19 are used, unless other values have been stated. The results are shown in figure 7.

Table 19 – Constants for resistors

A	Ea_1 eV	Ea_2 eV	$\theta_{amb,ref}$ °C
0,873	0,16	0,44	40

The factor π_T is obtained from figure 7 as a function of the average actual temperature of the resistor element:

$$\theta_2 = \theta_{amb} + \Delta T \text{ in degrees Celsius} \quad (23)$$

where $\Delta T = P \times R_{th,amb} = (\theta_{max} - 40) \times (P/P_{rat})$ 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 2):

$$\theta_1 = 40 \text{ °C} + \Delta T_{ref} \text{ in degrees Celsius.} \quad (24)$$

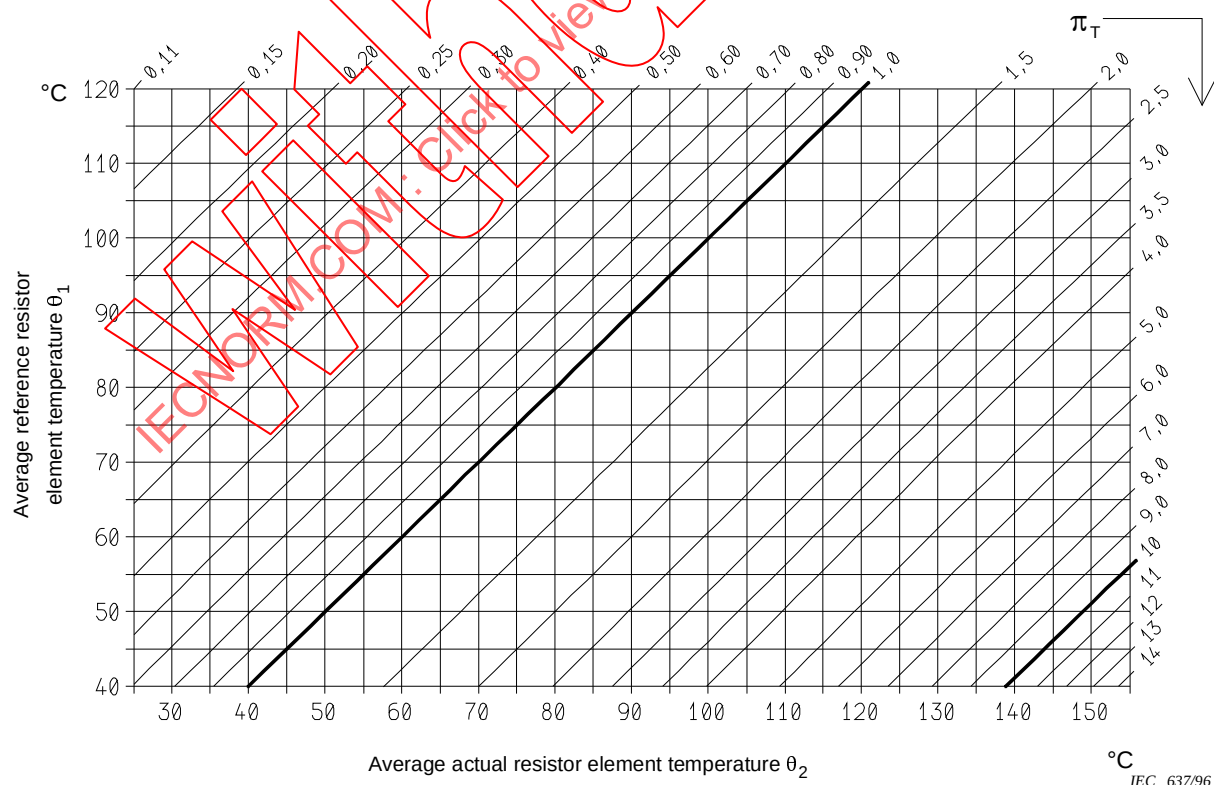


Figure 7 – Factor π_T for resistors

7.5.5 Influence de la température, facteur π_T pour les inductances, les transformateurs et les bobinages

La relation donnée par l'équation (5) ne s'applique qu'à des températures de bobinage inférieures ou égales à la température maximale spécifiée. On donne aux constantes A , Ea_1 , Ea_2 , les valeurs du tableau 20, sauf indication contraire. On lit le résultat du calcul sur la figure 8.

Tableau 20 – Valeurs des constantes pour les inductances, transformateurs et bobinages

A	Ea_1 eV	Ea_2 eV	$\theta_{amb,ref}$ °C
0,996	0,06	1,13	40

La figure 8 donne la valeur du facteur π_T en fonction de la température moyenne réelle du bobinage:

$$\theta_2 = \theta_{amb} + \Delta T \text{ en degrés Celsius} \quad (25)$$

ΔT étant l'élévation de température due au fonctionnement;

et en fonction de la température moyenne du bobinage dans les conditions de référence (voir tableau 2):

$$\theta_1 = 40 + \Delta T_{ref} \text{ en degrés Celsius} \quad (26)$$

ΔT_{ref} étant mesurée ou calculée à $0,5 \times P_n$.

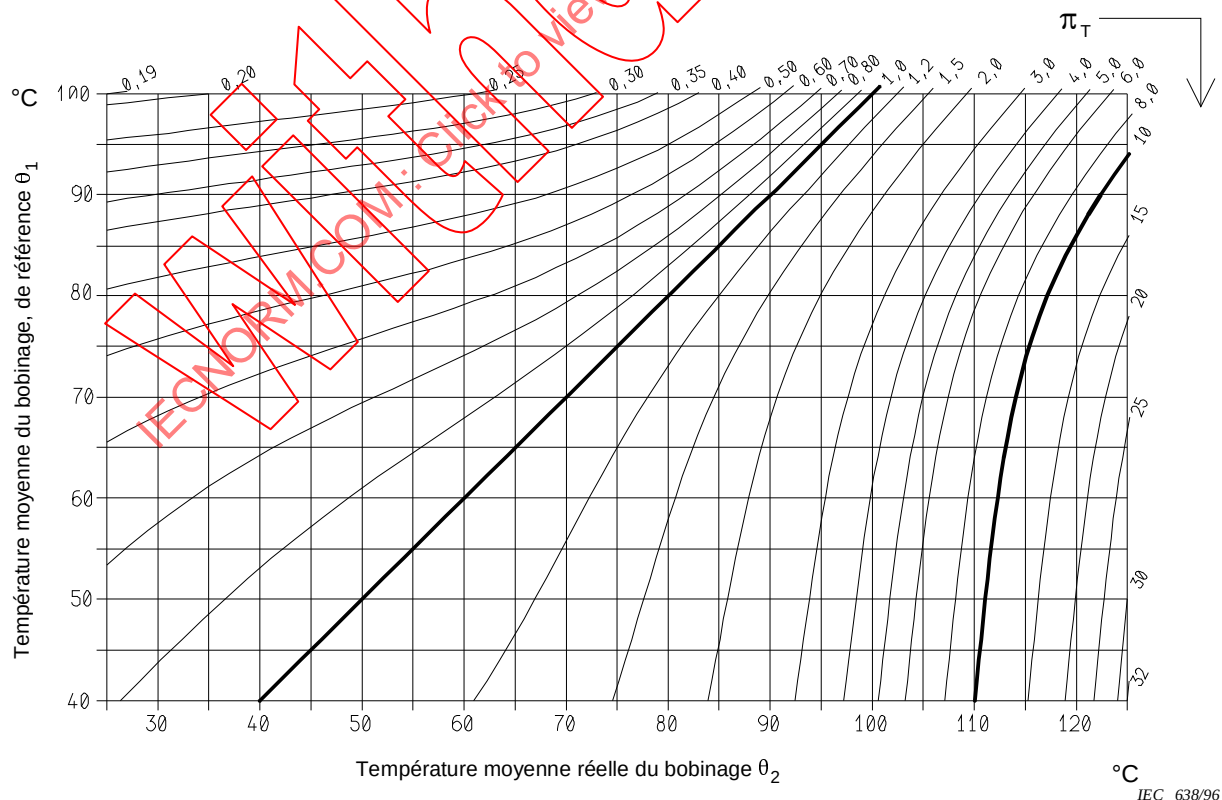


Figure 8 – Facteur π_T pour les transformateurs, les inductances et les bobinages

7.5.5 Temperature dependence, factor π_T for inductors, transformers and coils

The relationship given in equation (5) applies only up to the maximum permissible winding temperature. The constants A , Ea_1 and Ea_2 given in table 20 are used, unless other values have been stated. The results are shown in figure 8.

Table 20 – Constants for transformers, inductors and coils

A	Ea_1 eV	Ea_2 eV	$\theta_{amb,ref}$ °C
0,996	0,06	1,13	40

The factor π_T is obtained from figure 8 as a function of the actual average winding temperature:

$$\theta_2 = \theta_{amb} + \Delta T \text{ in degrees Celsius} \quad (25)$$

where ΔT is the temperature change due to operating conditions;

and, as a function of the average winding temperature under reference conditions (see table 2):

$$\theta_1 = 40 + \Delta T_{ref} \text{ in degrees Celsius} \quad (26)$$

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

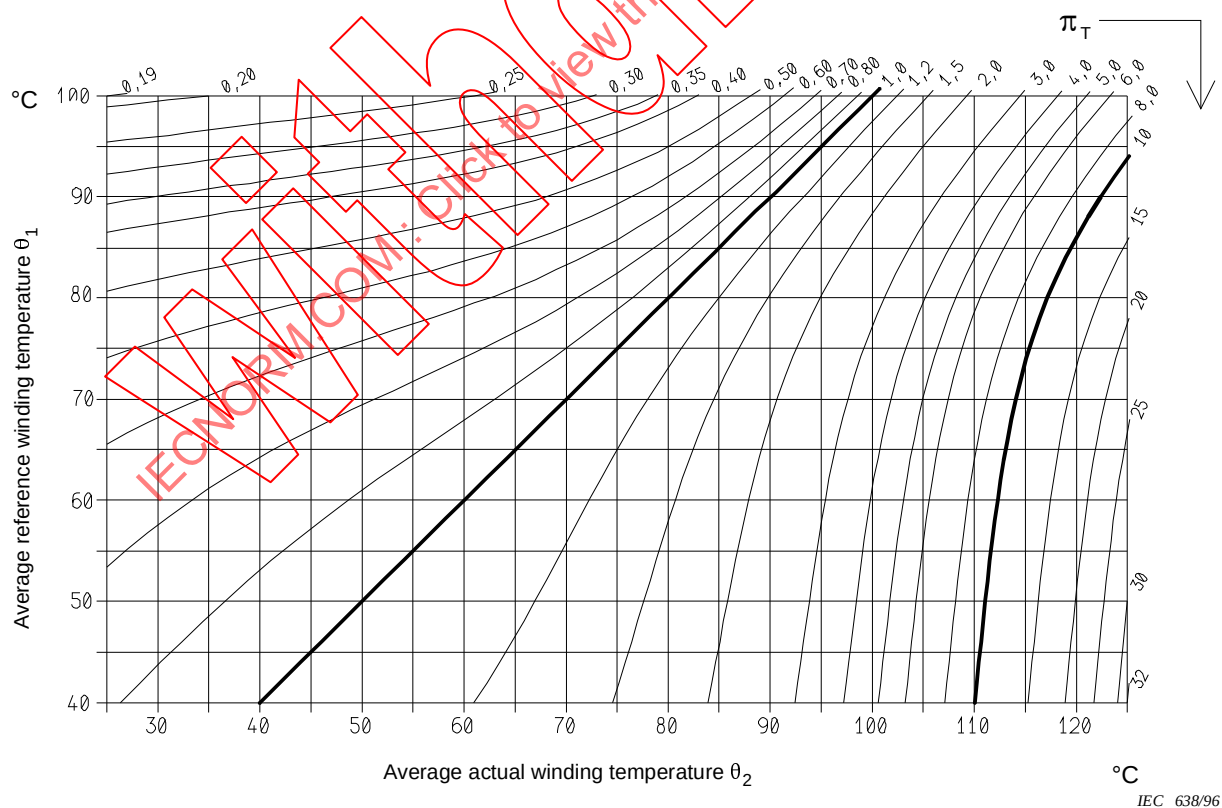


Figure 8 – Factor π_T for transformers, inductors and coils

7.5.6 Influence de la température, facteur π_T pour les autres composants passifs

On considère qu'il n'y a pas d'influence de la température sur le taux de défaillance pour les varistances, les thermistances à coefficient de température positif (CTP), les thermistances à coefficient de température négatif (CTN), les parafoudres, les filtres à quartz, les quartz et les oscillateurs à quartz, c'est-à-dire que $\pi_T = 1$.

7.6 Facteur de contraintes pour les connecteurs et les supports de composants

Pour les connecteurs et les supports de composants, il n'existe pas encore de valeurs empiriques pour des facteurs de contraintes afin de déterminer le taux de défaillance dans des conditions de fonctionnement différentes des conditions de référence.

7.7 Facteurs de contraintes pour les relais

7.7.1 Généralités

Le taux de défaillance, dans les conditions de fonctionnement, est.

$$\lambda = \lambda_{\text{ref}} \times \pi_{\text{ES}} \times \pi_{\text{S}} \times \pi_{\text{T}} \quad (27)$$

Cette équation comprend deux facteurs de plus que l'équation (1):

π_{ES} est le facteur traduisant l'influence des contraintes électriques;

π_{S} est le facteur traduisant l'influence de la fréquence de manœuvre.

Les valeurs des facteurs de contraintes sont données de 7.7.2 à 7.7.4.

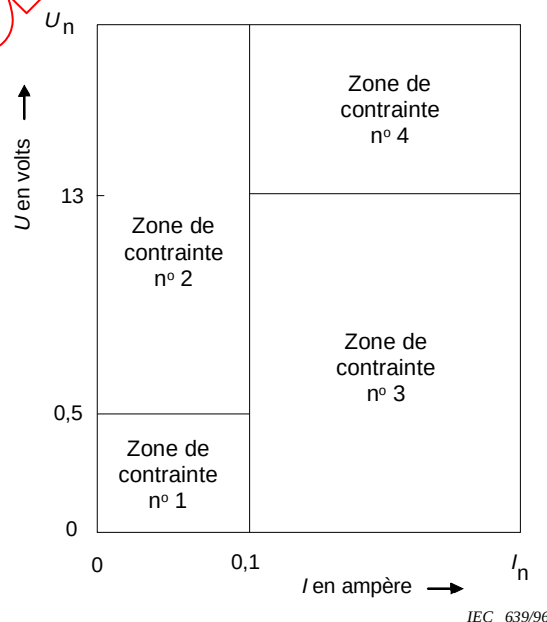
7.7.2 Influence des contraintes électriques, facteur π_{ES}

Les valeurs des facteurs de contraintes électriques pour les relais π_{ES} sont données dans les tableaux 21, 22 et 23 selon les zones de contraintes de la figure 9 et selon le type de charge des contacts.

Lorsqu'il existe un circuit de protection dans le circuit d'un contact, on peut assimiler la charge de ce contact à une charge résistive.

On trouve les valeurs du courant nominal de contact I_n et de la tension nominale de contact U_n dans la spécification particulière de chacun des types de relais.

Si des conditions de contraintes électriques différentes sont utilisées, le profil de ces contraintes devra être pris en compte (sinon le facteur associé à un plus haut niveau de contrainte doit être appliqué).



IEC 639/96

Figure 9 – Disposition des zones de contraintes selon les valeurs de courant et de la tension dans les conditions de fonctionnement

7.5.6 Temperature dependence, factor π_T for other passive components

For varistors, PTC thermistors, NTC thermistors, surge arresters, crystal filters, quartz crystals and quartz oscillators no temperature influence is considered; that is, $\pi_T = 1$.

7.6 Stress factors for connectors and plug-in sockets

For connectors and plug-in sockets, empirical values for stress factor, to determine failure rates in operating conditions different from reference conditions, are not yet available.

7.7 Stress factors for relays

7.7.1 General

The failure rate under operating conditions is:

$$\lambda = \lambda_{\text{ref}} \times \pi_{\text{ES}} \times \pi_{\text{S}} \times \pi_{\text{T}} \quad (27)$$

where, in addition to equation (1):

π_{ES} is the electrical stress dependence factor;

π_{S} is the switching rate factor.

The values of the stress factors are given in 7.7.2 to 7.7.4.

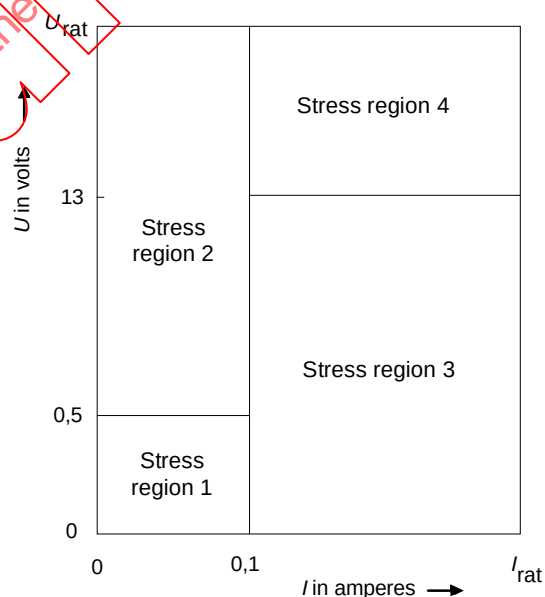
7.7.2 Dependence on electrical stress, factor π_{ES}

The factors π_{ES} given in tables 21, 22 and 23 are based on the selection of the stress region in figure 9 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).



IEC 639/96

Figure 9 – Selection of stress regions in accordance with current and voltage-operating conditions

Tableau 21 – Facteur de contraintes π_{ES} pour les relais à faible courant

Zone de contraintes (voir figure 9)	Facteur π_{ES} pour		
	une charge résistive	une charge capacitive* ou une lampe à incandescence comme charge	une charge inductive
1	2	2	–
2	1	8	8
3	2	20	40
4	8	40	–

* Le courant de crête maximal ne doit pas être dépassé (voir spécification particulière du relais).

Tableau 22 – Facteur π_{ES} de contraintes électriques pour les relais d'usage général

Zone de contraintes (voir figure 9)	Facteur π_{ES} pour					
	une charge résistive		une charge capacitive* ou une lampe à incandescence comme charge		une 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

* Le courant de crête maximal ne doit pas être dépassé (voir spécification particulière du relais).

Tableau 23 – Facteur de contraintes électriques π_{ES} pour les relais pour l'automobile

Zone de contraintes (voir figure 9)	Facteur π_{ES} ¹⁾ pour		
	une charge résistive	une charge capacitive ²⁾ ou une lampe à incandescence comme charge	une charge inductive
3	1	2 (1)	2 (1)
4	1	2 (1)	5 (1)

1) Les valeurs entre parenthèses sont applicables aux contacts en tungstène.
2) Le courant de crête maximal ne doit pas être dépassé (voir spécification particulière du relais).

Table 21 – Factor π_{ES} for low current relays

Stress region (see figure 9)	Factor π_{ES} for		
	resistive load	capacitive* and incandescent lamp load	inductive load
1	2	2	–
2	1	8	8
3	2	20	40
4	8	40	–
* Maximum current peak (see relay detail specification) not to be exceeded.			

Table 22 – Factor π_{ES} for general purpose relays

Stress region (see figure 9)	Factor π_{ES} for					
	resistive load		capacitive* and incandescent lamp load		inductive load	
	DC	AC	DC	AC	DC	AC
1 Without Au-coating With Au-coating	50	50	2	1	–	–
	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
* Maximum current peak (see relay detail specification) not to be exceeded.						

Table 23 – Factor π_{ES} for automotive relays

Stress region (see figure 9)	Factor $\pi_{ES}^{1)}$ for		
	resistive load	capacitive ²⁾ and incandescent lamp load	inductive load
3	1	2 (1)	2 (1)
4	1	2 (1)	5 (1)
1) Values in parentheses are valid for tungsten pre-contact.			
2) Maximum current peak (see relay detail specification) not to be exceeded.			

7.7.3 Influence de la fréquence de manoeuvre, facteur π_S

Le facteur π_S prend en compte le nombre de manoeuvres par heure, S .

a) $\pi_S = 1$ pour $0,01 < S \leq 1$ (28)

NOTE – Pour les très faibles valeurs de la fréquence de manoeuvre par heure ($S < 0,01/h$), le facteur π_S peut atteindre 100 pour des contacts hermétiques, scellés, normalement fermés, ou pour des contacts non scellés, normalement ouverts faiblement chargés.

b) $\pi_S = S/S_{ref}$ pour $S > 1$ (29)

où

S est la fréquence de manoeuvre en cycles par heure;

S_{ref} est la fréquence de manoeuvre de référence par heure, avec $S_{ref} = 1$.

On lit la valeur du facteur π_S sur la figure 10.

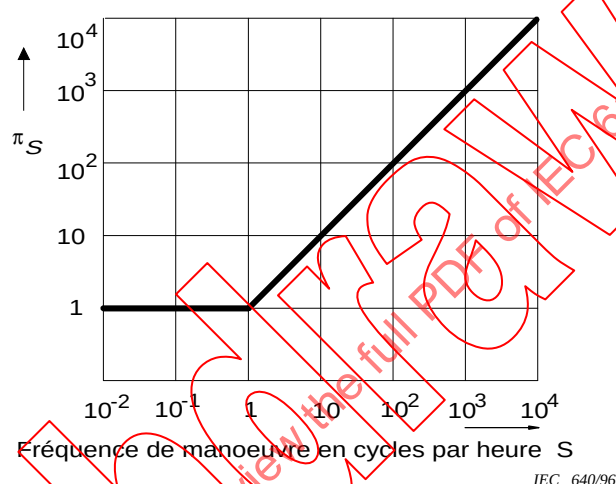


Figure 10 – Facteur π_S en fonction de la fréquence de manoeuvre

7.7.4 Influence de la température, facteur π_T

La relation donnée par l'équation (5) ne s'applique qu'à des températures inférieures ou égales à la température maximale spécifiée. On donne aux constantes A , Ea_1 , Ea_2 les valeurs du tableau 24, sauf indication contraire.

Tableau 24 – Valeur des constantes pour les relais

Matériau d'assemblage des contacts	A	Ea_1 eV	Ea_2 eV	$\theta_{amb,ref}$ °C
Plastique	1,0	0,175	–	40
Métal, verre, céramique	0,006	0,646	0	40

Les valeurs du facteur π_T calculées sont données dans le tableau 25 en fonction de la température ambiante.

7.7.3 Dependence on switching rate, factor π_S

This factor considers the number of operating cycles per hour, S .

$$\text{a) } \pi_S = 1 \text{ for } 0,01 < S \leq 1 \quad (28)$$

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.

$$\text{b) } \pi_S = S/S_{\text{ref}} \text{ for } S > 1 \quad (29)$$

where

S is the operating cycles per hour;

S_{ref} is the reference operating cycles per hour, where $S_{\text{ref}} = 1$.

The factor π_S is shown in figure 10.

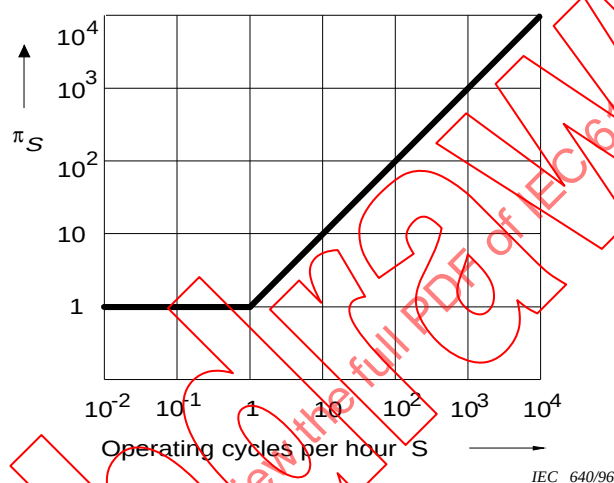


Figure 10 – Factor π_S depending on the operating cycles

7.7.4 Temperature dependence, factor π_T

The relationship given in equation (5) applies only up to the maximum permissible component temperature. The formula constants A , Ea_1 and Ea_2 given in table 24 are used, unless other values have been stated.

Table 24 – Constants for relays

Supporting construction	A	Ea_1 eV	Ea_2 eV	$\theta_{\text{amb,ref}}$ °C
Plastic	1,0	0,175	–	40
Metal, glass, ceramic	0,006	0,646	0	40

The calculated factors π_T are shown in table 25 and are dependent on the ambient temperature.

Tableau 25 – Facteurs π_T pour les relais

Matériau d'assemblage des contacts	Facteur π_T pour les températures ambiantes moyennes θ_{amb}^*			
	$\leq 40\text{ °C}$	70 °C	100 °C	125 °C
Plastique	1	1,8	2,8	4
Métal, verre, céramique	1	1	1,3	2

* Les valeurs ne s'appliquent qu'à des températures inférieures ou égales à la température ambiante maximale indiquée dans la spécification particulière du relais.

7.8 Facteurs de contraintes pour les commutateurs et les boutons-poussoirs

7.8.1 Généralités

Le taux de défaillance dans les conditions de fonctionnement est donné par l'équation suivante:

$$\lambda = \lambda_{ref} \times \pi_{ES} \quad (30)$$

où π_{ES} est le facteur traduisant l'influence des contraintes électriques.

Les valeurs du facteur de contraintes sont données en 7.8.2.

7.8.2 Influence des contraintes électriques, facteur π_{ES}

a) Pour les commutateurs pour circuits imprimés «DIP-FIX» et pour les commutateurs de codage et les boutons poussoirs à membrane, le facteur $\pi_{ES} = 1$.

b) Pour les autres commutateurs et les boutons poussoirs:

On prend les valeurs du facteur π_{ES} qui sont données dans les tableaux 26 et 27 selon les zones de contraintes de la figure 11 et selon le type de charge des contacts.

On trouve les valeurs du courant nominal de contact I_n et de la tension nominale de contact U_n dans la spécification particulière de chacun des types de commutateurs et boutons poussoirs.

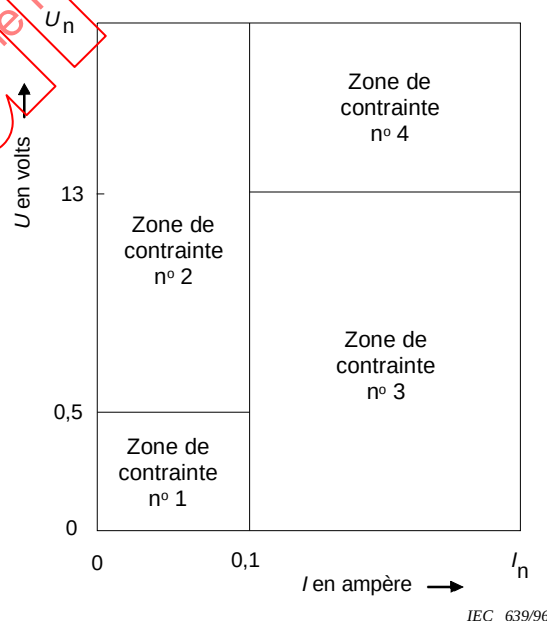


Figure 11 – Disposition des zones de contraintes selon les valeurs du courant et de la tension dans les conditions de fonctionnement

Table 25 – Factor π_T for relays

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

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

7.8 Stress factors for switches and push-buttons

7.8.1 General

The failure rate under operating conditions is calculated as:

$$\lambda = \lambda_{ref} \times \pi_{ES} \quad (30)$$

where π_{ES} is the electrical stress dependence factor.

The values of the stress factors are given in 7.8.2.

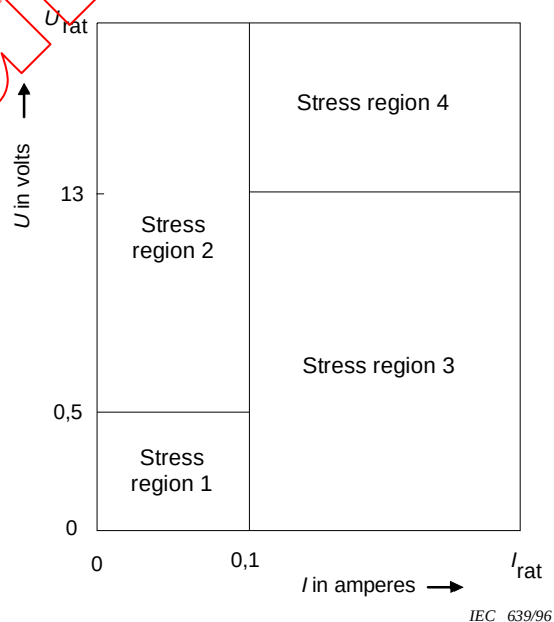
7.8.2 Dependence on electrical stress, factor π_{ES}

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 tables 26 and 27 are based on the selection of the stress region in figure 11 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.



IEC 639/96

Figure 11 – Selection of stress regions in accordance with current and voltage-operating conditions

Tableau 26 – Facteurs π_{ES} pour les commutateurs et boutons-poussoirs pour faibles contraintes électriques

Zone de contraintes (voir figure 11)	Facteur π_{ES} pour		
	une charge résistive	une charge capacitive * ou une lampe à incandescence comme charge	une charge inductive
1	2	2	–
2	1	8	8
3	2	20	40
4	8	40	–

* Le courant maximal de crête ne doit pas être dépassé (voir feuille de spécification).

Tableau 27 – Facteurs π_{ES} pour les commutateurs et boutons-poussoirs pour des contraintes électriques plus fortes

Zone de contraintes (voir figure 11)	Facteur π_{ES} pour					
	une charge résistive		une charge capacitive * ou une lampe à incandescence comme charge		une 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

* Le courant de crête maximal ne doit pas être dépassé (voir feuille de spécification).

7.9 Facteurs de contraintes pour les voyants et lampes de signalisation (à incandescence)

Le taux de défaillance, dans les conditions de fonctionnement, est calculé en fonction de la tension d'alimentation d'après l'équation (1) selon l'équation suivante:

$$\lambda = \lambda_{ref} \times \pi_U \quad (31)$$

NOTE – Pour des températures ambiantes plus élevées, avec des chocs mécaniques et des impulsions de courant et des fréquences de manoeuvre non prévues, le taux de défaillance peut être plus grand. Mais on ne dispose pas actuellement de valeurs validées expérimentalement.

Le facteur π_U traduisant l'influence de la tension est donné dans le tableau 28.

Table 26 – Factor π_{ES} for switches and push-buttons for low electrical stress

Stress region (see figure 11)	Factor π_{ES} for		
	resistive load	capacitive * and incandescent lamp load	inductive load
1	2	2	–
2	1	8	8
3	2	20	40
4	8	40	–
* Maximum current peak (see data sheet) not to be exceeded.			

Table 27 – Factor π_{ES} for switches and push-buttons for higher electrical stress

Stress region (see figure 11)	Factor π_{ES} for					
	resistive load		capacitive * 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
* Maximum current peak (see data sheet) not to be exceeded.						

7.9 Stress factors for pilot and signal lamps (incandescent)

The failure rate under operating conditions, as a function of the operating voltage, is calculated according to equation (1) as:

$$\lambda = \lambda_{ref} \times \pi_U \quad (31)$$

NOTE – The failure rate may also be higher, depending on higher ambient temperatures, mechanical and electrical impulse loads, with other than the intended switching operation. At present, no empirically validated information is available.

The stress factor π_U for voltage dependence is given in table 28.

Tableau 28 – Facteur de tension π_U pour les voyants et lampes de signalisation

	Facteur π_U pour U / U_n										
	$\leq 0,70$	0,80	0,85	0,90	0,95	1,0	1,05	1,1	1,15	1,2	1,30
Lampes à incandescence											
Voyants et lampes de signalisation, lampes de signaux de chemin de fer	0,02	0,10	0,20	0,30	0,60	1,0	1,70	3,0	4,50	7,0	17,0
Lampes au tungstène, à halogène	–	–	–	–	0,60	1,0	1,7	3,0	–	–	–
Lampes de feux de signalisation routière	–	–	–	–	0,60	1,0	2,0	4,0	–	–	–

IEC NORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61709:1996

Table 28 – Factor π_U for pilot and signal lamps

	Factor π_U for U / 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											
Pilot and signal lamps, railway signal lamps	0,02	0,10	0,20	0,30	0,60	1,0	1,70	3,0	4,50	7,0	17,0
Tungsten halogen lamps	–	–	–	–	0,60	1,0	1,7	3,0	–	–	–
Road traffic signal lamps	–	–	–	–	0,60	1,0	2,0	4,0	–	–	–

Withdawn
IEC NORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61709:1996

Annexe A (informative)

Restrictions à la validité des modèles de fiabilité et aux prévisions de fiabilité

A.1 Généralités

Il est bon d'attirer l'attention sur les restrictions à la validité des modèles de fiabilité et aux prévisions de fiabilité comme ceux que l'on trouve dans la présente norme.

- a) On s'appuie sur des valeurs de taux de défaillance ayant des origines variées, ce qui correspond à des conditions moyennes. La précision et la validité de telles données peuvent être contestables.
- b) Les résultats de fiabilité correspondant à des dispositifs de technologie récente peuvent ne pas encore être disponibles; dans le même ordre d'idées, les données que l'on vient de publier sont inévitablement déjà périmées.
- c) Alors que les modèles donnés montrent que l'on peut obtenir de faibles valeurs du taux de défaillance par une réduction de la température, il peut se faire que d'autres mécanismes de dégradation soient prépondérants à faible température et rendent inefficace une simple réduction de la température lorsque l'on cherche de très bonnes fiabilités.
- d) Ces méthodes donnent seulement des estimations générales de fiabilité.
- e) L'hypothèse du taux de défaillance constant pendant la durée de vie utile d'un dispositif n'est pas toujours vraie mais une telle hypothèse fournit des valeurs qui se prêtent bien aux analyses comparatives.

A.2 Description d'une base de données de taux de défaillance

Cet article vise à expliquer ce qu'une base de données de fiabilité doit contenir pour qu'on puisse en tirer des valeurs de taux de défaillance dans les conditions de référence; son but est aussi de fournir des bases de discussion sur la validité des données entre les deux parties intéressées par une prévision de fiabilité, le client et le fournisseur. Il est recommandé aux deux parties de régler toute divergence avant d'entreprendre des prévisions de fiabilité.

Cette norme ne cautionne aucune base de données particulière et il est reconnu ici que toute base de données élaborée par un fabricant, un fournisseur de composants, un client ou tout autre organisme peut très bien être adaptée aux objectifs qui viennent d'être donnés. Il existe deux normes de la CEI qui fournissent des recommandations pour l'élaboration de données de fiabilité convenables. Ce sont la CEI 319 sur la présentation des données de fiabilité à partir d'essais en laboratoire et la CEI 300-3-2 sur l'acquisition des données de fiabilité à partir de résultats d'exploitation.

Quelques renseignements sont nécessaires dans une base afin qu'elle garantisse de fournir de bons éléments de discussion entre les deux parties. On se reportera plus loin au résumé des renseignements nécessaires. Avant tout, il y a le niveau de qualité des composants de la base de données. Cela comprend la qualification, le déverminage et les autres éléments de l'assurance de qualité. Les autres renseignements nécessaires sont la complexité du composant, ses limites de fonctionnement et la nature technique de l'encapsulation.