IEC/TR 60943

Edition 2.1 2009-03

TECHNICAL REPORT

RAPPORT TECHNIQUE

Guidance concerning the permissible temperature rise for parts of electrical equipment, in particular for terminals

Guide concernant l'échauffement admissible des parties des matériels électriques, en particulier les bornes de raccordement

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.020

ISBN 978-2-88910-335-5

® Registered trademark of the International Electrotechnical Commission
Marque déposée de la Commission Electrotechnique Internationale

CONTENTS

FOREWORD 4
INTRODUCTION 6

Section 1: General

1 General 8
1.1 Scope and object 8
1.2 Reference documents 8
1.3 Definitions 9
1.4 Symbols 9

Section 2: Theory

2 General considerations concerning the nature of electric contact and the calculation and measurement of the ohmic resistance of contacts 10
2.1 Electric contacts and connection terminals 10
2.2 Nature of electric contact 10
2.3 Calculation of contact resistance 12
3 Ageing mechanisms of contacts and connection terminals 16
3.1 General 16
3.2 Contacts of dissimilar metals 17
3.3 Oxidation ageing mechanisms 19
3.4 Results concerning ageing of copper contacts 21
3.5 Usage and precautions to be taken in the use of contact materials 24
4 Calculation of temperature rise of conductors, contacts and connection terminals 25
4.1 Symbolic representations 25
4.2 Temperature rise ΔT_s of a conductor with respect to the temperature T_e of the surrounding medium 27
4.3 Temperature rise ΔT_o o in the vicinity of the contact: temperature rise of connection terminals 28
4.4 Temperature rise of the elementary contact points 28

Section 3: Application

5 Permissible temperature and temperature rise values 29
5.1 Ambient air temperature Θ_a 29
5.2 Temperature and temperature rise of various equipment components 30
5.3 Temperature and temperature rise of conductors connecting electrical equipment 38
5.4 Temperature and temperature rise of connection terminals for electrical equipment – Influence on connected conductors 39

6 General procedure to be followed for determining permissible temperature and temperature rise 40
6.1 Basic parameters....40
6.2 Method to be followed for determining maximum permissible temperature and temperature rise 40

Annex A Numerical examples of the application of the theory and other data 42
Annex B Physical characteristics of selected metals and alloys....45
Annex C Physical characteristics of fluid dielectrics 46
Annex D nformation on the reaction of contact metals with substances in the atmosphere 47
Annex E Temperature rise of a conductor cooled by radiation and convection in the vicinity of a terminal....48
Annex F List of symbols used in this report 57
Annex G Bibliography 59

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

GUIDANCE CONCERNING THE PERMISSIBLE TEMPERATURE RISE FOR PARTS OF ELECTRICAL EQUIPMENT, IN PARTICULAR FOR TERMINALS

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. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. In exceptional circumstances, a technical committee may propose the publication of a technical report of one of the following types:

- type 1, when the required support cannot be obtained for the publication of an International Standard, despite repeated efforts;
- type 2, when the subject is still under technical development or where for any other reason there is the future but no immediate possibility of an agreement on an International Standard;
- type 3, when a technical committee has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

Technical reports of types 1 and 2 are subject to review within three years of publication to decide whether they can be transformed into International Standards. Technical reports of type 3 do not necessarily have to be reviewed until the data they provide are considered to be no longer valid or useful.

IEC 60943, which is a technical report of type 3, has been prepared by IEC technical committee 32: Fuses.

This consolidated version of IEC 60943 consists of the second edition (1998) [documents 32/142/CDV and 32/148/RVC] and its amendment 1 (2008) [documents 32/187/DTR and 32/188/RVC].

The technical content is therefore identical to the base edition and its amendment and has been prepared for user convenience.

It bears the edition number 2.1.

A vertical line in the margin shows where the base publication has been modified by amendment 1.

Annexes are for information only.

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

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

INTRODUCTION

a) The temperature rise encountered in electrical assemblies as a result of the various losses in the conductors, contacts, magnetic circuits, etc. is of growing importance as a result of the development of new techniques of construction and operation of equipment.

   This development has been particularly significant in the field of assemblies, where numerous components dissipating energy (contactors, fuses, resistors, etc.), in particular modular devices are found within enclosures of synthetic materials which are somewhat impermeable to heat.

   This temperature rise results in a relatively high temperature of the basic elements constituting the electric contacts: a high temperature favours oxidation at the contact interface, increases its resistance and thereby leads to further heating, and thus to an even higher temperature. If the component material of the contact is unsuitable or insufficiently protected, the contact may be irreparably damaged before the calculated useful life of the equipment has expired.

   Such temperature rises also affect connection terminals and the connected conductors, and their effects should be limited in order to ensure that the insulation of the conductors remains satisfactory throughout the life of the installation.

b) In view of these problems, this report has been prepared with the following objectives:

   – to analyze the various heating and oxidation phenomena to which the contacts, the connection terminals and the conductors leading to them are subjected, depending on their environment and their arrangement;

   – to provide elementary rules to product committees to enable them to specify permissible temperatures and temperature rises.

c) Attention is drawn to the precautions to be taken for sets of components when parts are grouped together in the same enclosure.

   The attention of users should be drawn particularly to the fact that the temperature rise of terminals permitted by particular switchgear standards results from conventional situations during type tests; these can differ appreciably from the situations met with in practice, which have to be taken into account, particularly because of the temperatures permitted by the insulation of the conductors which may be connected to the terminals under normal conditions.

d) Attention is drawn to the fact that in the relevant product standards, the permissible temperature and temperature rise for the external terminals are measured during conventional type tests and therefore they may not reflect the actual situation likely to occur in normal use.

   Suitable precautions should then be adopted to avoid exposure to temperatures that may affect the life of materials adjacent to the terminals of components.

   In this case, it is essential to distinguish the concept of "external ambient temperature" which prevails outside the enclosure from that of "the temperature of the fluid surrounding a part" which comprises the external ambient temperature plus the internal temperature rise due to the parts. These concepts, as well as other complementary concepts such as the thermal resistance of an enclosure, are dealt with in clause 5 and explained by means of numerical examples.

   In order to facilitate complete calculation, this report links up the temperature of the fluid surrounding a component to the external ambient temperature by the introduction of the concept of "coefficient of filling" and gives a numerical example (5.2.3.2) which specifies the values of the coefficient of filling to be used in several practical cases.

The quantities involved in calculating contact constriction resistance are subject to wide variations due to the physical conditions and degree of contamination of the surface in contact. By calculation alone, therefore, the contact resistance can be estimated to an accuracy of no better than an order of magnitude.

More precise and more accurate values should be obtained by direct measurement on given items of electrical equipment, because in practice it is often the case that other incalculable degradation mechanisms predominate.

This report is not meant to give guidance on the derating of components.

It is strongly advised that the reference literature quoted at the end of this report be studied before attempting to apply the data to a practical problem.

GUIDANCE CONCERNING THE PERMISSIBLE TEMPERATURE RISE FOR PARTS OF ELECTRICAL EQUIPMENT, IN PARTICULAR FOR TERMINALS

Section 1: General

1 General

1.1 Scope and object

This report is intended for guidance in estimating the permissible values for temperature and temperature rise of component parts of electrical equipment carrying current under steady state conditions.

This report applies to electrical power connections and materials adjacent to them.

This report is concerned with the thermal effects of currents passing through connections, therefore there are no voltage limits to its application.

This report is only applicable when referred to in the appropriate product standard.

The extent and manner to which the contents of this report are used in standards is the responsibility of individual Technical Committees.

Whenever "permissible" values are stated in this report, they mean values permitted by the relevant product standard.

The present report is intended to supply:

– general data on the structure of electric contacts and the calculation of their ohmic resistance;
– the basic ageing mechanisms of contacts;
– the calculation of the temperature rise of contacts and connection terminals;
– the maximum “permissible” temperature and temperature rise for various components, in particular the contacts, the connection terminals and the conductors connected to them;
– the general procedure to be followed by product committees for specifying the permissible temperature and temperature rise.

1.2 Reference documents

IEC 60050(441):1984, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 441: Switchgear and controlgear and fuses*

IEC 60085:1984, *Thermal evaluation and classification of electrical insulation*

IEC 60216-1:1990, *Guide for the determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials – Part 1: general guidelines for ageing procedures and evaluation of the test results*

IEC 60364-4-42:1980, *Electrical installations of buildings – Part 4: Protection for safety - Chapter 42: Protection against thermal effects*

IEC 60694:1996, *Common specifications for high-voltage switchgear and controlgear standards*

IEC 60721-2-1:1982, *Classification of environmental conditions – Part 2: environmental conditions appearing in nature. Temperature and humidity*

IEC 60890:1987, *A method of temperature-rise assessment by extrapolation for partially type-tested assemblies (PTTA) of low voltage switchgear and controlgear*

IEC 60947-1:1988, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 1: General rules*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 62
INTRODUCTION 64

Section 1: Généralités

1 Généralités 66
1.1 Domaine d'application et objet 66
1.2 Documents en références 66
1.3 Définitions 67
1.4 Symboles 67

Section 2: Théorie

2 Généralités sur la nature du contact électrique, le calcul et le mesurage de la résistance ohmique des contacts 68
2.1 Contacts électriques et bornes de raccordement 68
2.2 Nature du contact électrique 68
2.3 Calcul de la résistance de contact 70
3 Mécanismes de vieillissement des contacts et des bornes de raccordement 74
3.1 Généralités 74
3.2 Contacts de métaux différents 75
3.3 Mécanismes de vieillissement par oxydation 77
3.4 Résultats relatifs au vieillissement des contacts en cuivre 79
3.5 Mise en oeuvre et précautions à prendre lors de l'utilisation des matériaux de contact 82
4 Calcul des échauffements des conducteurs, des contacts et des bornes de raccordement 83
4.1 Représentation symbolique 83
4.2 Echauffement ΔT_s s d'un conducteur par rapport à la température T_e du fluide environnant 85
4.3 Echauffement ΔT_o au voisinage du contact: échauffement des bornes de raccordement 86
4.4 Echauffement des points de contact élémentaires 86

Section 3: Application

5 Valeurs admissibles des températures et des échauffements 87
5.1 Température de l'air ambiant Θ_a 87
5.2 Température et échauffements des différents organes d'un matériel électrique 88
5.3 Température et échauffement des conducteurs de raccordement d'un matériel électrique 96
5.4 Températures et échauffements des bornes de raccordement d'un matériel électrique – Influence sur les conducteurs raccordés 97

6 Marche générale à suivre pour la détermination des températures et échauffements admissibles 98
6.1 Paramètres fondamentaux 98
6.2 Méthode à suivre pour déterminer les températures et les échauffements maximaux admissibles 98

Annexe A Exemples numériques de l'application de la théorie et autres caractéristiques .. 100
Annexe B Caractéristiques physiques de quelques métaux et alliages 103
Annexe C Caractéristiques physiques de fluides diélectriques 104
Annexe D Données sur la réaction des métaux de contact avec les substances de l'atmosphère 105
Annexe E Echauffement d'un conducteur refroidi par rayonnement et convection près d'une borne 106
Annexe F Liste des symboles littéraux utilisés 115
Annexe G Bibliographie 117

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

GUIDE CONCERNANT L'ÉCHAUFFEMENT ADMISSIBLE DES PARTIES DES MATÉRIELS ÉLECTRIQUES, EN PARTICULIER LES BORNES DE RACCORDEMENT

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 de la 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 tâche principale des comités d'études de la CEI est l'élaborer des Normes internationales. Exceptionnellement, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique de l'un des types suivants:

- type 1, lorsque, en dépit de maints efforts, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une Norme internationale;
- type 2, lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique ou lorsque, pour une raison quelconque, la possibilité d'un accord pour la publication d'une Norme internationale peut être envisagée pour l'avenir mais pas dans l'immédiat;
- type 3, lorsqu'un comité d'études a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur l'état de la technique.

Les rapports techniques des types 1 et 2 font l'objet d'un nouvel examen trois ans au plus tard après leur publication afin de décider éventuellement de leur transformation en Normes internationales. Les rapports techniques du type 3 ne doivent pas nécessairement être révisés avant que les données qu'ils contiennent ne soient plus jugées valables ou utiles.

La CEI 60943, rapport technique de type 3, a été établi par le comité d'études 32 de la CEI: Coupe-circuit à fusibles.

Cette version consolidée de la CEI 60943 comprend la deuxième édition (1998) [documents 32/142/CDV et 32/148/RVC] et son amendement 1 (2008) [documents 32/187/DTR et 32/188/RVC].

Le contenu technique de cette version consolidée est donc identique à celui de l'édition de base et à son amendement; cette version a été préparée par commodité pour l'utilisateur.

Elle porte le numéro d'édition 2.1.

Une ligne verticale dans la marge indique où la publication de base a été modifiée par l'amendement 1.

Les annexes sont données à titre d'information.

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

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

INTRODUCTION

a) Les échauffements rencontrés dans les matériels électriques, résultant des différentes pertes dissipées dans les conducteurs, contacts, circuits magnétiques, etc., prennent une importance croissante avec le développement des nouvelles techniques de construction et d'exploitation des appareils.

   Cette évolution a été particulièrement sensible dans le domaine des matériels où de nombreux organes dissipant de l'énergie (contacteurs, fusibles, résistances, etc.), en particulier les dispositifs modulaires, se trouvent réunis à l'intérieur d'enveloppes en matériaux synthétiques peu perméables à la chaleur.

   Ces échauffements se traduisent par une température relativement élevée des éléments essentiels que représentent les contacts électriques: une température élevée favorise l'oxydation à l'interface du contact, augmente sa résistance, ce qui aboutit à un échauffement plus important, donc à une température encore plus élevée. Si le matériau constituant le contact est inadapté ou insuffisamment protégé, le contact peut être détruit avant que la durée de vie escomptée de l'appareil qui l'emploie ne soit écoulée.

   Ces échauffements affectent également les bornes de raccordement ainsi que les conducteurs qui y sont raccordés, et il convient d'en limiter les effets pour la bonne tenue des isolants de ces conducteurs pendant la durée de vie de l'installation.

b) Compte tenu de ces problèmes, le présent rapport a été établi avec les objectifs suivants:

   – analyser les différents phénomènes d'échauffement et d'oxydation auxquels sont sujets les contacts, les bornes de raccordement et les conducteurs qui y aboutissent, en fonction de leur environnement et de leur disposition;

   – fournir aux comités de produit des règles élémentaires afin de leur permettre de préciser des températures et des échauffements admissibles.

c) L'attention est tout particulièrement attirée sur les précautions à prendre pour les ensembles de constituants lorsqu'il y a rassemblement d'organes à l'intérieur d'une même enveloppe.

   Il convient d'attirer l'attention des utilisateurs sur le fait que les échauffements des bornes admis par les normes particulières d'appareillage résultent de situations conventionnelles pendant les essais de type; celles-ci peuvent s'écarter notablement de situations rencontrées en pratique, dont il y a lieu de tenir compte, en particulier à cause des températures admises par les isolants des conducteurs qui peuvent être reliés aux bornes dans des conditions normales.

d) L'attention est attirée sur le fait que, dans les normes de produit correspondantes, la température et les échauffements admissibles des bornes externes sont mesurés au cours d'essais de type conventionnels et peuvent donc ne pas refléter la situation susceptible de se produire en usage normal.

   Il convient donc d'adopter des précautions particulières pour éviter une exposition à des températures qui peuvent avoir une incidence sur la durée de vie des matériaux reliés aux bornes des composants.

   Il est essentiel, dans ce cas, de bien distinguer la notion de «température ambiante externe» qui règne à l'extérieur d'une enveloppe de celle de «température du fluide environnant un organe» qui est la somme de la température ambiante externe et de l'échauffement interne dû aux organes. Ces notions, et d'autres notions complémentaires telles que la résistance thermique d'une enveloppe, sont présentées dans l'article 5 et développées concrètement dans des exemples numériques.

   Afin de faciliter un calcul complet, ce rapport relie la température du fluide environnant un organe à la température ambiante externe grâce à l'introduction de la notion de «coefficient de remplissage» et donne un exemple numérique (5.2.3.2.) qui précise les valeurs du coefficient de remplissage à utiliser dans quelques cas pratiques.

Les grandeurs intervenant dans le calcul de la résistance de constriction d'un contact sont sujettes à de grandes variations dues aux conditions physiques et au degré de contamination des surfaces en contact. Par le calcul uniquement, la résistance de contact peut être estimée, mais avec une précision n'excédant pas un ordre de grandeur.

Des valeurs plus précises peuvent être obtenues par mesure directe sur des matériels électriques donnés, car en pratique, il arrive souvent que d'autres phénomènes de dégradation imprévisibles par le calcul prédominent. C'est pourquoi les forces de contact basées sur l'expérience à long terme du constructeur d'un matériel donné doivent être prises en compte lors de la conception.

Ce rapport n'est pas supposé guider pour le déclassement des composants.

Il est fortement conseillé d'étudier les ouvrages cités en référence à l'annexe G du présent rapport avant de tenter d'appliquer les données à un problème pratique.

GUIDE CONCERNANT L'ÉCHAUFFEMENT ADMISSIBLE DES PARTIES DES MATÉRIELS ÉLECTRIQUES, EN PARTICULIER LES BORNES DE RACCORDEMENT

Section 1: Généralités

1 Généralités

1.1 Domaine d'application et objet

Le présent rapport est destiné à servir de guide lorsqu'il s'agit d'estimer des valeurs admissibles pour les températures et les échauffements des parties conductrices de matériels électriques en régime établi.

Ce rapport s'applique aux raccordements électriques de puissance, ainsi qu'aux matériaux avoisinants.

Le présent rapport est concerné par les effets thermiques du courant passant au travers des connexions; il n'y a pas de limites de tension pour sa mise en application.

Le présent rapport est applicable seulement lorsqu'il y est fait référence dans la norme de produit applicable.

Les comités d'études individuels seront responsables de l'extension et de la façon dont les termes du présent rapport sont utilisés dans leurs documents normatifs.

Lorsqu'il est fait référence à des valeurs «admissibles» dans le présent rapport, il s'agit des valeurs autorisées par les normes de produit s'y rapportant.

Le présent rapport se propose de fournir:

– les données générales sur la structure des contacts électriques et le calcul de leur résistance ohmique;
– les mécanismes fondamentaux du vieillissement des contacts;
– le calcul de l'échauffement des contacts et des bornes de connexion;
– les températures et échauffements maximaux admissibles pour différents organes de matériels, en particulier les contacts, les bornes de connexion et les conducteurs qui leur sont raccordés;
– la marche générale à suivre par le comité de produit pour spécifier les températures et échauffements admissibles.

1.2 Documents en références

CEI 60050(441):1984, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 441: Appareillage et fusibles*

CEI 60085:1984, *Evaluation et classification thermiques de l'isolation électrique*

CEI 60216-1:1990, *Guide pour la détermination des propriétés d'endurance thermique de matériaux isolants électriques – Première partie: Guide général relatif aux méthodes de vieillissement et à l'évaluation des résultats d'essai*

CEI 60364-4-42:1980, *Installations électriques des bâtiments – Quatrième partie: Protection pour assurer la sécurité – Chapitre 42: Protection contre les effets thermiques*

CEI 60694:1996, *Spécifications communes aux normes de l'appareillage à haute tension*

CEI 60721-2-1:1982, *Classification des conditions d'environnement – Deuxième partie: Conditions d'environnement présentes dans la nature – Température et humidité*

CEI 60890:1987, *Méthode de détermination par extrapolation des échauffements pour les ensembles d'appareillage à basse tension dérivés de série (EDS)*

CEI 60947-1:1988, *Appareillage à basse tension – Première partie: Règles générales.*