

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC
60563**

Première édition
First edition
1976-01

**Températures limites admissibles en service
pour les éléments des équipements électriques
des véhicules de traction**

**Permissible limiting temperatures in service
for components of electrical equipment
of traction vehicles**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60563: 1976

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60 000.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

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 dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement (Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60 050: *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI)*.

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60 027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60 617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60 000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

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 in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates (On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60 050: *International Electrotechnical Vocabulary (IEV)*.

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60 027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60 617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT

CEI
IEC
60563

Première édition
First edition
1976-01

**Températures limites admissibles en service
pour les éléments des équipements électriques
des véhicules de traction**

**Permissible limiting temperatures in service
for components of electrical equipment
of traction vehicles**

© IEC 1976 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.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

e-mail: inmail@iec.ch

3, rue de Varembe Geneva, Switzerland
IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

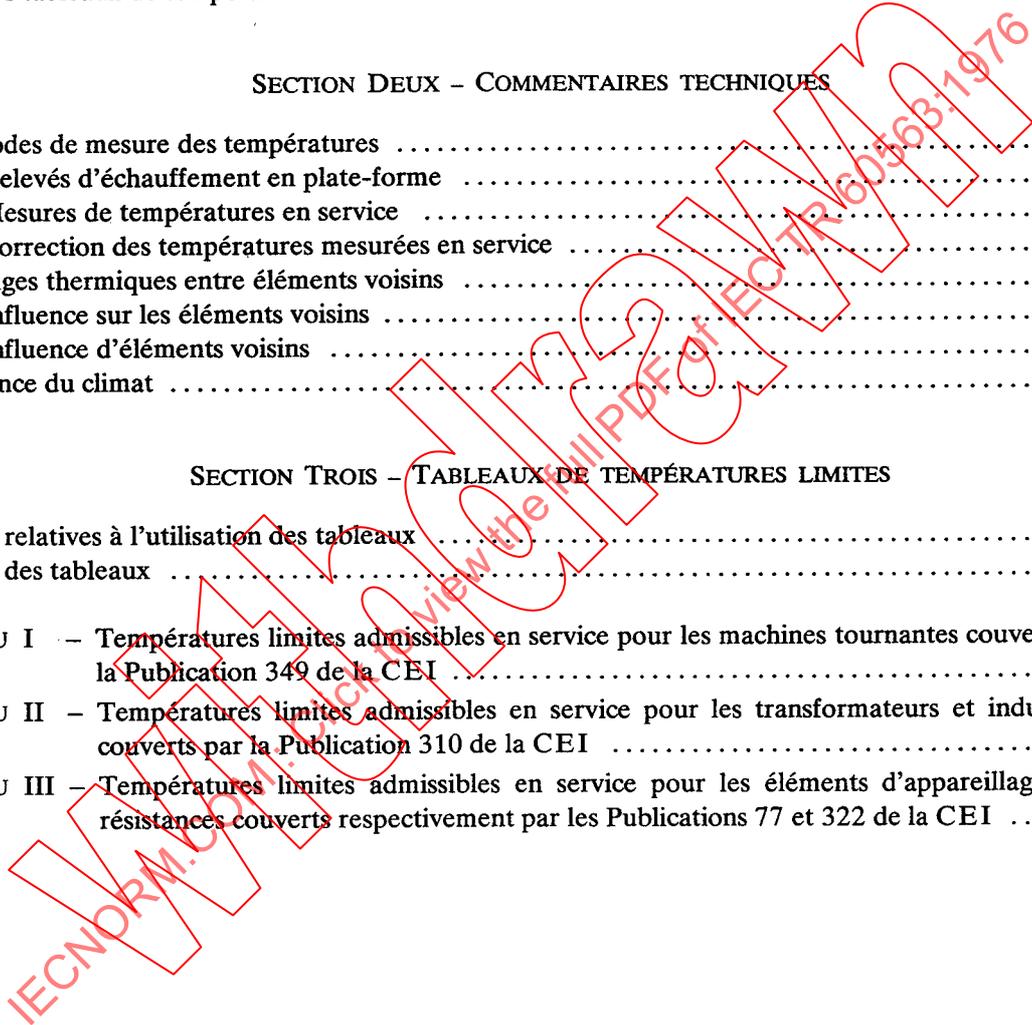
CODE PRIX
PRICE CODE

K

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
SECTION UN – GÉNÉRALITÉS	
Articles	
1. Domaine d'application	6
2. Conditions de service	6
3. But des tableaux de températures limites	8
SECTION DEUX – COMMENTAIRES TECHNIQUES	
4. Méthodes de mesure des températures	8
4.1 Relevés d'échauffement en plate-forme	8
4.2 Mesures de températures en service	10
4.3 Correction des températures mesurées en service	10
5. Echanges thermiques entre éléments voisins	12
5.1 Influence sur les éléments voisins	12
5.2 Influence d'éléments voisins	12
6. Influence du climat	12
SECTION TROIS – TABLEAUX DE TEMPÉRATURES LIMITES	
7. Notes relatives à l'utilisation des tableaux	14
8. Notes des tableaux	14
TABLEAU I – Températures limites admissibles en service pour les machines tournantes couvertes par la Publication 349 de la CEI	16
TABLEAU II – Températures limites admissibles en service pour les transformateurs et inductances couverts par la Publication 310 de la CEI	16
TABLEAU III – Températures limites admissibles en service pour les éléments d'appareillage et de résistances couverts respectivement par les Publications 77 et 322 de la CEI	18



CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5

SECTION ONE – GENERAL

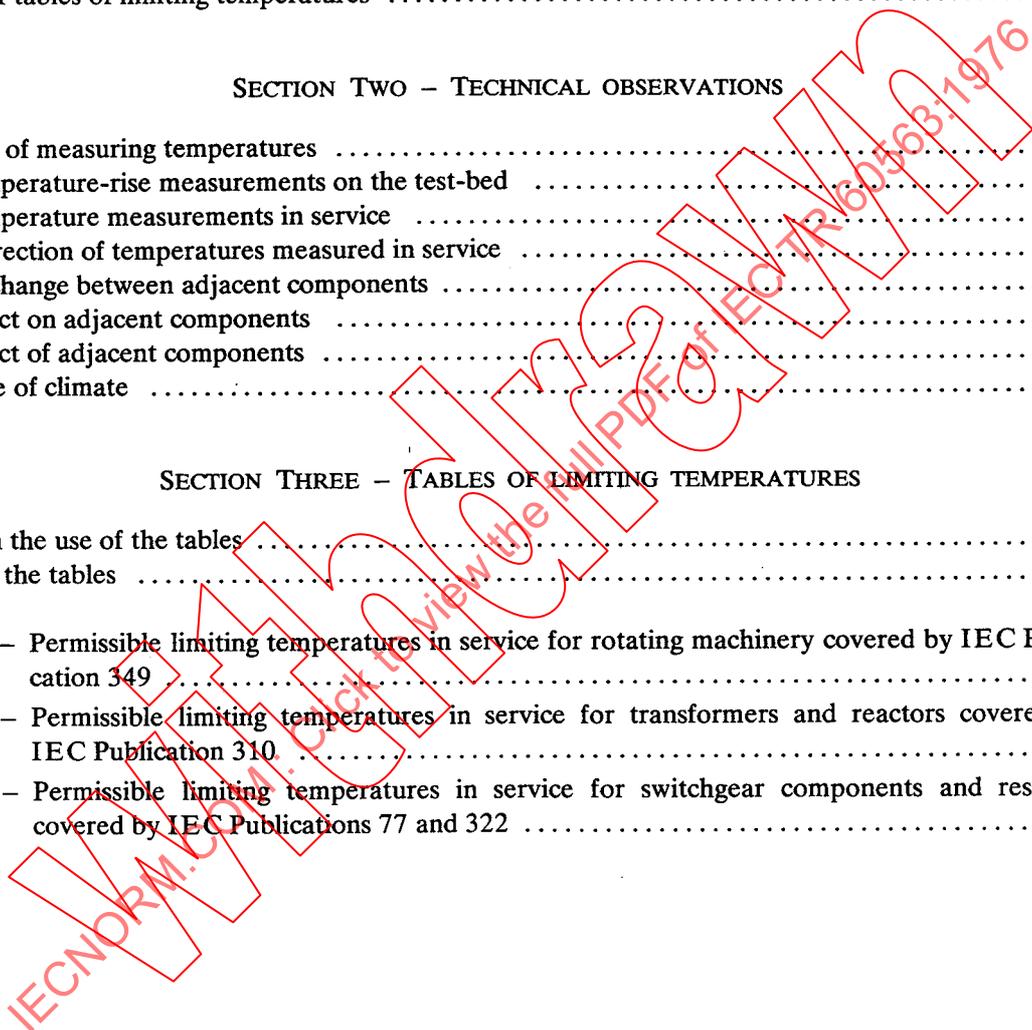
Clause	
1. Scope	7
2. Service conditions	7
3. Object of tables of limiting temperatures	9

SECTION TWO – TECHNICAL OBSERVATIONS

4. Methods of measuring temperatures	9
4.1 Temperature-rise measurements on the test-bed	9
4.2 Temperature measurements in service	11
4.3 Correction of temperatures measured in service	11
5. Heat exchange between adjacent components	13
5.1 Effect on adjacent components	13
5.2 Effect of adjacent components	13
6. Influence of climate	13

SECTION THREE – TABLES OF LIMITING TEMPERATURES

7. Notes on the use of the tables	15
8. Notes to the tables	15
TABLE I – Permissible limiting temperatures in service for rotating machinery covered by IEC Publication 349	17
TABLE II – Permissible limiting temperatures in service for transformers and reactors covered by IEC Publication 310	17
TABLE III – Permissible limiting temperatures in service for switchgear components and resistors covered by IEC Publications 77 and 322	19



COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**TEMPÉRATURES LIMITES ADMISSIBLES EN SERVICE POUR LES ÉLÉMENTS
DES ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES DES VÉHICULES DE TRACTION**

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

PRÉFACE

Le présent rapport a été établi par le Comité Mixte International du Matériel de Traction Electrique, à la suite de la décision prise par cet organisme au cours de la réunion tenue à Rome en octobre 1970.

Le projet, élaboré par un groupe de travail préparatoire constitué par le Comité d'Etudes N° 9 de la CEI, fut discuté lors de la réunion tenue à Bucarest en septembre 1974, puis le document 9(Bureau Central)254 fut soumis à l'approbation des Comités nationaux de la CEI suivant la Règle des Six Mois, ainsi qu'à l'Union Internationale des Chemins de Fer en mars 1975.

Ce projet a reçu l'accord explicite des Comités nationaux de la CEI des pays suivants:

Afrique du Sud (République d')	Italie
Allemagne	Japon
Autriche	Pays-Bas
Belgique	Pologne
Bésil	Roumanie
Canada	Royaume-Uni
Espagne	Suède
Etats-Unis d'Amérique	Suisse
France	Turquie
Hongrie	Union des Républiques Socialistes Soviétiques
Israël	Yougoslavie

et de l'Union Internationale des Chemins de Fer.

La publication du document sous forme de rapport de la CEI fut décidée par le CMT lors de sa réunion de Bucarest. Tout en reconnaissant l'intérêt technique et l'utilité du document tant pour les constructeurs que pour les utilisateurs de matériel ferroviaire, le Comité a en effet estimé que sa parution sous forme de norme de la CEI risquerait d'imposer certaines contraintes aux réseaux de chemins de fer, par exemple, interdiction de dépassements momentanés des températures limites indiquées, obligation d'installer sur le matériel des dispositifs de mesure des températures, etc.

Pour ces raisons, il n'est pas envisagé de transformer ultérieurement le présent rapport en norme de la CEI.

Autres publications de la CEI citées dans la présente publication:

- Publications N°s 34: Machines électriques tournantes (éditée en plusieurs parties).
77: Règles applicables à l'appareillage électrique de traction.
310: Règles applicables aux transformateurs de traction et aux inductances de traction.
322: Règles concernant les résistances ohmiques insérées dans les circuits de puissance des véhicules moteurs.
349: Règles applicables aux machines électriques tournantes des véhicules ferroviaires et routiers.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**PERMISSIBLE LIMITING TEMPERATURES IN SERVICE FOR COMPONENTS
OF ELECTRICAL EQUIPMENT OF TRACTION VEHICLES**

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

This report has been prepared by the International Mixed Committee on Electric Traction Equipment, following its decision taken at the meeting held in Rome in October 1970.

Prepared by a preparatory Working Group set up by IEC Technical Committee No. 9, the draft was discussed during the meeting held in Bucharest in September 1974, then Document 9(Central Office)254 was submitted to the IEC National Committees for approval under the Six Months' Rule, as well as to the International Union of Railways, in March 1975.

This draft was explicitly approved by the IEC National Committees of the following countries:

Austria	Poland
Belgium	Romania
Brazil	South Africa (Republic of)
Canada	Spain
France	Sweden
Germany	Switzerland
Hungary	Turkey
Israel	Union of Soviet Socialist Republics
Italy	United Kingdom
Japan	United States of America
Netherlands	Yugoslavia

and by the International Union of Railways.

The CMT, meeting in Bucharest, decided to publish this document as an IEC report. While recognizing the technical interest and the usefulness offered by this document to manufacturers and users of railway material, the Committee felt that its publication as an IEC standard would enforce some restrictions to railway networks, such as interdiction of temporary exceeding specified limiting temperatures, compulsory installation of temperature measuring apparatus, etc.

For the above reasons, the transformation, later on, of this report into an IEC standard is not considered.

Other IEC publications quoted in this publication:

- Publications Nos. 34: Rotating Electrical Machines (issued in several parts).
77: Rules for Electric Traction Equipment.
310: Rules for Traction Transformers and Reactors.
322: Rules for Ohmic Resistors used in the Power Circuits of Electrically Powered Vehicles.
349: Rules for Rotating Electrical Machines for Rail and Road Vehicles.

TEMPÉRATURES LIMITES ADMISSIBLES EN SERVICE POUR LES ÉLÉMENTS DES ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES DES VÉHICULES DE TRACTION

SECTION UN – GÉNÉRALITÉS

1. Domaine d'application

1.1 Le présent rapport s'applique:

- aux machines tournantes,
- aux transformateurs et inductances,
- à l'appareillage,
- aux résistances des circuits de puissance respectivement couverts par les Publications 349, 310, 77 et 322* de la CEI concernant les équipements des véhicules mus électriquement.

1.2 On se référera à la Publication 34* de la CEI pour les températures limites des éléments de machines auxiliaires couvertes par cette publication. En l'absence d'indication, on admettra, en première approximation, que la température limite est égale à l'échauffement limite prescrit par la Publication 34 de la CEI majoré de 40 °C.

2. Conditions de service

2.1 Conditions climatiques

Outre les conditions particulières (altitude, température ambiante maximale, poussière, humidité, etc.) que l'exploitant doit spécifier conformément aux stipulations des publications citées au paragraphe 1.1, la *température ambiante moyenne annuelle* de la région d'utilisation du matériel devra être indiquée.

2.2 Conditions d'exploitation

La diversité des matériels et des exigences d'exploitation n'étant pas compatible avec le concept d'un écart forfaitaire uniforme entre deux séries de valeurs, l'une pour le service normal, l'autre pour des marches exceptionnelles, les tableaux de la section trois indiquent la valeur de la température limite ϑ_{im} qui ne devra jamais être dépassée, en service normal le plus dur, même lorsque la température ambiante ϑ_a atteint le maximum spécifié.

Les conditions du service normal le plus dur et, s'il y a lieu, des marches exceptionnelles doivent être définies par l'exploitant.

a) Les indications *minimales pour le service normal le plus dur* comportent les données usuelles telles que: - Profil, tonnages maximaux, résistances au roulement admises, accélérations, vitesse, temps de parcours, etc., auxquelles s'ajoutent les conditions propres à la ligne (arrêt et redémarrage à une série de signaux successifs, risques de patinage allongeant la durée des démarrages sur certaines rampes, tension minimale en ligne, etc.).

Certaines conditions normales propres au matériel pouvant influencer les températures en service (telles que l'inégale répartition des charges entre moteurs due aux écarts «normaux» entre caractéristiques ou entre diamètre de bandages) sont l'affaire personnelle du constructeur et ne sont pas à mentionner.

* Le titre des publications se trouve dans la Préface.

PERMISSIBLE LIMITING TEMPERATURES IN SERVICE FOR COMPONENTS OF ELECTRICAL EQUIPMENT OF TRACTION VEHICLES

SECTION ONE – GENERAL

1. Scope

1.1 This report applies to:

- rotating machinery,
 - transformers and reactors,
 - switchgear,
 - resistors in power circuits
- as covered by IEC Publications 349, 310, 77 and 322*, respectively, relating to the equipment of electrically-driven vehicles.

1.2 Reference shall be made to IEC Publication 34* concerning the limiting temperatures for components of auxiliary machines covered by this publication. Unless otherwise stated, it may be assumed as a first approximation that the limiting temperature is equal to the temperature-rise limit given in IEC Publication 34 plus 40 °C.

2. Service conditions

2.1 Climatic conditions

Apart from particular conditions (altitude, maximum ambient temperature, dust, humidity, etc.) that have to be specified by the user in accordance with the requirements of the publications quoted in Sub-clause 1.1, the *annual mean ambient temperature* of the region in which the equipment will be used should be stated.

2.2 Conditions of use

The diversity of equipment and of operating requirements is not compatible with the concept of an arbitrary uniform difference between two sets of values, one for normal service and the other for exceptional service, so that the tables of Section Three give only the value ϑ_{lim} for the limiting temperature, which should never be exceeded in the most severe normal service, even when the ambient temperature ϑ_a reaches the specified maximum.

The definition of the most severe normal service and, if necessary, of exceptional service shall be provided by the user.

a) The *minimum indications for the most severe normal service* comprise the usual data such as:

- gradient, maximum tonnages, agreed rolling resistance, acceleration, speed, time for runs, etc., to which are added conditions specific to the line (such as stops and starts at successive signals, risks of wheel-slip prolonging the starting times on certain gradients, minimum line voltage, etc.).

Certain normal conditions specific to the equipment which may affect the service temperatures (such as unequal distribution of load between motors due to “normal” differences between their characteristics or between tyre diameters) are a matter for the manufacturer and should not be mentioned.

* The titles of the publications are found in the Preface.

b) Les conditions de *marche temporaire exceptionnelle* dépendent des exigences particulières à l'exploitation en cas d'avarie. Il s'agira le plus souvent de marches avec ventilateurs avariés, un ou plusieurs moteurs isolés, une unité motrice isolée dans une rame fonctionnant en unité multiple. La durée forcément limitée de ces marches devra être précisée (temps ou distance à parcourir), ainsi que le profil de la ligne.

Note. – Eu égard à son caractère particulier, le cas de marche temporaire exceptionnelle n'est cité ici que pour mémoire. Dans les articles suivants, il n'est fait état que du service normal le plus dur.

3. But des tableaux de températures limites

Les éléments constitutifs des organes des équipements de traction électrique possèdent à l'origine un ensemble de caractéristiques électriques, mécaniques et autres qui leur confèrent des marges de sécurité convenables par rapport aux contraintes prévisibles.

En service, ces marges s'amenuisent sous l'influence conjuguée de divers facteurs jusqu'à ce que la dégradation de l'une des caractéristiques atteigne le seuil impliquant le rebut de l'élément.

Une technologie adéquate permet de pallier les effets des vibrations, forces centrifuges, usures, dilatations, ionisations, pollutions, etc.; par suite, les deux facteurs essentiels de dégradation sont finalement la température ϑ et le temps t .

La prédétermination par le calcul de la durée de vie d'un élément d'équipement de traction soumis en service à une suite de régimes répétitifs est pratiquement impossible en raison du nombre de paramètres à considérer, des variations continues des régimes de marche et de la température ambiante, de notre ignorance des lois régissant les vieillissements élémentaires et leur cumul, etc.

Mais l'expérience considérable déjà acquise en service sur des éléments soumis à des conditions d'utilisation similaires (nature, cycle de travail, etc.) complétée par les enseignements tirés de l'analyse d'essais de vieillissement en laboratoire permet d'établir une relation valable entre la température maximale atteinte au cours du cycle de travail et la durée de vie.

Il s'ensuit que les tableaux de ϑ_{lim} ci-après pourront être utilisés pour permettre notamment:

- de s'assurer par le calcul que la température qui sera atteinte dans les conditions de service les plus dures ne dépassera pas la limite compatible avec une durée de vie raisonnable;
- d'établir des consignes de conduite au cas où des appareils indicateurs (sondes, thermomètres, images thermiques, etc.) permettraient au conducteur de connaître à tout instant la température de certains organes principaux.

Toutefois, sans exclure la possibilité de vérification en service par mesures effectives de la température de certains éléments, les valeurs de ϑ_{lim} indiquées ne doivent pas être considérées comme limites impératives d'acceptation ou de refus du matériel lors des essais de réception des véhicules terminés.

SECTION DEUX – COMMENTAIRES TECHNIQUES

4. Méthodes de mesure des températures

L'énoncé d'une température ou d'un échauffement n'a de signification que s'il est accompagné de l'indication de la méthode de mesure utilisée.

4.1 Relevés d'échauffement en plate-forme

Pour ces essais du matériel de traction les quatre méthodes suivantes ont été prescrites:

- par variation de résistance (tous enroulements isolés);
- thermomètre ordinaire (pièces d'appareillage, bobines nues, fluides réfrigérants des transformateurs, air ambiant);

b) The conditions for *temporary periods of exceptional service* depend on the special requirements imposed in use in cases of emergency. Most frequently this means running with defective blowers, with one or more motors cut out, or with one traction vehicle switched off in a multi-unit train. The duration of such runs, which must be limited, should be stated (time or distance run), together with the gradient of the line.

Note. – In view of its special nature, the case of temporary periods of exceptional service is mentioned here as a passing reference only. In the following clauses, only the most severe normal service is covered.

3. Object of tables of limiting temperatures

The parts of the various components of electric traction equipment possess initially a set of electrical, mechanical and other characteristics which endow them with safety margins commensurate with the stresses envisaged.

In service, these margins are progressively reduced due to the cumulative action of various factors until one or other of the characteristics deteriorates to below the threshold implying rejection of the component.

Proper design enables the effects of vibration, centrifugal forces, wear, expansion, ionization, pollution, etc., to be minimized; consequently, the two essential degradation factors which remain are temperature ϑ and time t .

Prediction by calculation of the life of a component of traction equipment subjected in service to a series of repetitive running states is practically impossible owing to the number of parameters to be taken into account, the continuous variation of running states and ambient temperatures, and also in view of our ignorance regarding the laws governing the ageing of components and their cumulative effects, etc.

However, the considerable amount of experience which has been acquired in service of components subjected to similar conditions of use (type, working cycle, etc.), coupled with information obtained from the analysis of laboratory ageing tests, has enabled a valid relation to be established between the maximum temperature reached during a cycle and the life duration.

Consequently, the tables for ϑ_{lim} given below may be used in particular:

- to ensure by calculation that the temperature reached under the most severe service conditions will not exceed a limit compatible with a reasonable life duration;
- to establish instructions for the case where instruments (probes, thermometers, thermal images, etc.) enable the driver to know at any time the temperatures of certain main components.

However, without excluding the possibility of verification in service by direct measurements of the temperatures of certain components, the values of ϑ_{lim} given should not be considered as mandatory limits for the acceptance or rejection of equipment during the acceptance tests of completed vehicles.

SECTION TWO – TECHNICAL OBSERVATIONS

4. Methods of measuring temperatures

The statement of a temperature or of a temperature rise is only of significance if accompanied by an indication of the method of measurement used.

4.1 *Temperature-rise measurements on the test-bed*

For these tests of traction equipment, the four following methods have been recommended:

- variation of resistance (all insulated windings);
- ordinary thermometer (parts of switchgear, bare coils, transformer coolant liquids, ambient air);

- thermomètre électrique (fluides réfrigérants des transformateurs, collecteurs, cages d'écureuil, amortisseurs, éléments de résistance);
- peintures virant à la chaleur (éléments de résistance).

Des raisons essentiellement pratiques ont conduit pour ces essais en plate-forme à éliminer d'autres méthodes de mesure des températures telles que: sondes noyées dans les enroulements, images thermiques, etc., bien que quelques utilisations de telles méthodes aient été faites lors d'essais d'investigation.

Il est rappelé que:

a) la méthode «par variation de résistance» ne donne que la température moyenne des enroulements, les échauffements limites prescrits pour les essais en plate-forme ont été fixés en tenant compte implicitement de l'existence de «points chauds»;

b) les thermomètres électriques (thermocouples, petites sondes à résistance) ont une constante de temps thermique bien plus faible que celle des thermomètres ordinaires (réservoir de mercure). Pour cette raison, leur emploi a d'abord été imposé pour les mesures de température des collecteurs, mesures qui ne peuvent se faire qu'à l'arrêt, au début de la période de refroidissement.

Par la suite, l'emploi du thermomètre électrique a été étendu à certains éléments régis par les Publications 310, 322 et 349 de la CEI. Par contre, il n'est jamais mentionné dans la Publication 77 de la CEI sauf comme variante pour les enroulements isolés¹.

4.2 Mesures de températures en service

En général, les mesures de températures en service sont d'une exécution plus difficile que la mesure des échauffements en plate-forme (potentiels élevés ne permettant pas l'installation permanente de capteurs, accessibilité, etc.) et ne peuvent être faites suffisamment tôt après coupure de courant et arrêt du véhicule pour permettre une extrapolation non hasardeuse des résultats; on obtient alors des résultats plus dignes de foi par des calculs basés sur des relevés effectués lors de parcours types des véhicules et sur les résultats d'essais de type en plate-forme.

En conséquence, s'il est convenu de vérifier les températures atteintes en service sur certains éléments (essais de type facultatifs), on donnera la préférence aux mesures effectives lorsque celles-ci seront exécutables sans danger ni difficulté pratique et avec une précision suffisante. Sinon la vérification par le calcul sera admise.

Les températures limites indiquées dans les tableaux ont été fixées en admettant que la méthode de vérification utilisée était l'une ou l'autre des deux méthodes (a) et (b) conseillées dans les colonnes «Méthode de vérification en service».

S'il s'agit de mesures effectives et non de calculs et que les méthodes conseillées ne puissent être appliquées, l'exploitant et le constructeur devront choisir une méthode adéquate et se mettre d'accord sur la correction éventuelle à appliquer à la valeur de ϑ_{lim} des tableaux.

Bien entendu, cette correction sera fondée en principe sur les écarts relevés lors d'essais simultanés en plate-forme avec les deux méthodes.

Dans tous les cas, la notion et la vérification des points chauds des enroulements sont exclues du présent rapport.

4.3 Correction des températures mesurées en service

Soit ϑ la température mesurée effectivement sur un certain élément à l'emplacement du parcours où la température la plus élevée est atteinte.

¹ Cette lacune sera vraisemblablement comblée lors de la révision de la Publication 77 (deuxième édition) de la CEI.

- electrical thermometer (transformer coolant liquids, commutators, squirrel cages, dampers, resistance elements);
- temperature-sensitive paints (resistance elements).

For these test-bed measurements, essentially practical reasons have led to the elimination of other methods of measuring temperatures such as probes embedded in windings, thermal images, etc., although such methods may have been used for investigation tests.

It is recalled here that:

a) the variation of resistance method gives only the average temperature of the windings; the limiting temperature rises specified for the test-bed measurements have been fixed by taking the existence of local “hot spots” into account;

b) electrical thermometers (thermocouples, small resistance probes) have a far smaller thermal time constant than ordinary thermometers (mercury reservoir). For this reason, their use was first introduced for measuring commutator temperatures, which measurements can only be made with the machine stopped at the beginning of the cooling-off period.

Subsequently, the use of electrical thermometers has been extended to some of the components covered by IEC Publications 310, 322 and 349. On the other hand, there is no mention of them in IEC Publication 77 except as an alternative method for insulated windings.¹

4.2 *Temperature measurements in service*

In general, temperature measurements in service are more difficult to carry out than temperature-rise measurements on the test-bed (the presence of high voltages precludes the permanent installation of sensors and interferes with accessibility, etc.), and they cannot be made soon enough after switching off the current and stopping the vehicle to permit accurate extrapolation of the results; more reliable results can be obtained by calculations based on measurements made during standard runs of vehicles and on the results of type tests on the test-bed.

Consequently, if it is agreed to verify the temperatures reached in service on certain components (optional type tests), preference should be given to direct measurements where these can be made without danger or practical difficulty and with sufficient accuracy; if not, verification by calculation will be allowed.

The limiting temperatures given in the tables have been laid down on the assumption that the method of verification used was one or other of the two methods (a) and (b) recommended in the column headed “Method of verification in service”.

If these are direct measurements and not calculations, and the recommended methods cannot be applied, manufacturer and user should choose a suitable method and reach agreement on any correction which may have to be applied to the value of θ_{lim} in the tables.

This correction will of course be based in principle on the differences found when carrying out measurements on the test-bed simultaneously by both methods.

In every case, the concept of hot spots in the windings and their verification is outside the scope of this report.

4.3 *Correction of temperatures measured in service*

Let θ be the temperature measured directly on a given component at the point in the journey where the highest temperature is attained.

¹ This omission will probably be remedied when revising IEC Publication 77 (second edition).

En général, cette valeur ne pourra être comparée à la valeur de ϑ_{lim} recommandée qu'après correction, tenant compte du fait que le plus souvent la température ambiante ϑ_a lors de l'essai est inférieure à la température ambiante maximale spécifiée $\vartheta_{a\max}$.

Pour simplifier, on admettra que la température maximale ϑ_{max} qui aurait été atteinte si l'essai avait été effectué le jour le plus chaud, est donnée par:

$$\vartheta_{max} = \vartheta + (\vartheta_{a\max} - \vartheta_a)$$

5. Echanges thermiques entre éléments voisins

5.1 Influence sur les éléments voisins

La température maximale admissible pour un élément ne doit entraîner aucun risque de détérioration pour les éléments voisins.

En général, il s'agit d'un problème technologique et on ne peut faire mieux que de rappeler que la valeur limite indiquée pour un élément est applicable sous réserve qu'elle soit sans influence sur la bonne tenue des pièces voisines, comme cela est prescrit par exemple pour les bobinages nus (paragraphe 11.2 – tableau II de la Publication 77 de la CEI).

Toutefois, il est des cas où l'élément *voisin* est très nettement défini et où sa température limite fixe celle de l'élément considéré; c'est par exemple le cas des enroulements de transformateurs dans l'huile, dont la température limite dépend uniquement de l'huile qu'elle que soit la classe de l'isolation solide des conducteurs.

5.2 Influence d'éléments voisins

Il incombe au constructeur de fixer le régime nominal d'un élément de telle sorte que sa température ϑ_{lim} ne soit pas dépassée, compte tenu des effets d'échauffement ou de refroidissement des organes voisins.

6. Influence du climat

La notion de température limite assurant une durée de vie donnée est fondée sur l'hypothèse d'une utilisation de l'équipement dans les conditions d'un climat «normal». Si, en conséquence, le climat de la région où l'équipement est utilisé diffère du climat «normal», ϑ_{lim} doit être corrigée pour tenir compte du climat réel.

Toutefois, les corrections à apporter aux valeurs des ϑ_{lim} des tableaux sont en général faibles; elles peuvent être négligées sauf dans le cas de climats exceptionnels où les corrections à appliquer sont fixées par accord entre exploitant et constructeur.

Le climat «normal» auquel correspondent les températures limites des tableaux a été caractérisé simplement par:

- une température ambiante maximale $\vartheta_{a\max} = 40\text{ °C}$;
- une température ambiante moyenne annuelle $\vartheta_{a\text{ moy}} = 25\text{ °C}$
(valeurs usuelles des normes de la CEI pour les matériels de traction).

Note. – En cas de corrections, celles-ci ne doivent être appliquées qu'aux seuls enroulements de machines tournantes, de transformateurs et d'inductances signalés par un astérisque (*) dans la colonne «Élément» des tableaux ci-après.

On peut en effet admettre une température limite invariable assurant cependant une durée de vie ne dépendant pratiquement que de $\vartheta_{a\max}$ pour les autres éléments qui sont caractérisés par un coude brusque de leur courbe de vitesse de vieillissement en fonction de la température, par des constantes de temps thermiques très faibles ou par la prépondérance de facteurs autres que la température, etc.

In general, this value can be compared with the recommended value of ϑ_{lim} only after correction, having regard to the fact that most frequently the ambient temperature ϑ_a during the test is lower than the maximum specified ambient temperature $\vartheta_{a\ max}$.

For simplicity, it will be assumed that the maximum temperature ϑ_{max} which would have been reached if the test had been carried out on the hottest day is given by:

$$\vartheta_{max} = \vartheta + (\vartheta_{a\ max} - \vartheta_a)$$

5. Heat exchange between adjacent components

5.1 Effect on adjacent components

The maximum permissible temperature for a component shall not give rise to any risk of deterioration of adjacent components.

Generally speaking, this is a technological problem, and the best that can be done is to recall that the limiting value given for a component is applicable with the reserve that it shall have no adverse effect on the satisfactory operation of adjacent parts, as has been required for bare wire coils (see IEC Publication 77, Sub-clause 11.2, Table II).

However, there are cases where the *neighbouring* component is quite clearly defined, and where its limiting temperature determines that of the component under consideration; for example, this is the case for oil-immersed transformer windings, whose limiting temperature depends entirely on the oil, irrespective of the class of solid insulation of the conductors.

5.2 Effect of adjacent components

It is the responsibility of the manufacturer to specify the rated duty of the component such that the temperature ϑ_{lim} is not exceeded after allowance for heating or cooling effects of adjacent equipment.

6. Influence of climate

The concept of a limiting temperature ensuring a given life duration is based on the assumption that the equipment is used in a “normal” climate. If, therefore, the climate in the region where the equipment is used differs from the “normal” climate, ϑ_{lim} should be corrected to the actual climate.

However, the corrections to be applied to the values of ϑ_{lim} in the tables are generally small; they can be neglected except in the case of exceptional climates, where the corrections to be applied shall be subject to agreement between user and manufacturer.

The “normal” climate to which the limiting temperatures in the tables correspond has been simply characterized by:

- a maximum ambient temperature $\vartheta_{a\ max} = 40\ ^\circ\text{C}$;
 - an annual mean ambient temperature $\vartheta_{a\ av} = 25\ ^\circ\text{C}$.
- (These are the usual values in IEC standards for traction equipment.)

Note. – These corrections have to be applied only to the windings of rotating machinery, transformers and reactors marked with an asterisk (*) in the “Component” columns of the tables at the end of this publication.
In fact, it appears possible to allow an invariable limiting temperature ensuring however a life duration depending only on $\vartheta_{a\ max}$ for other components characterized by a sharp bend in their ageing temperature curve, by very low thermal time constants or by the preponderance of factors other than temperature, etc.

SECTION TROIS – TABLEAUX DE TEMPÉRATURES LIMITES

7. Notes relatives à l'utilisation des tableaux

7.1 Sélection des éléments dont la température peut être vérifiée en service

Les tableaux ci-après indiquent la valeur de la température limite proposée pour tous les éléments dont l'échauffement limite en plate-forme est spécifié dans les Publications 77, 310, 322 et 349 de la CEI.

Cela n'implique pas que, par exemple lors des essais de réception d'un véhicule, on doive vérifier (par mesure ou par calcul) la température maximale atteinte par chacun des très nombreux éléments de l'équipement.

La diversité des équipements et des cas ne permet pas de préciser dans ce rapport la liste des éléments dont on doit mesurer ou calculer la température maximale atteinte en service; cette liste établie par accord entre exploitant et constructeur peut être mentionnée dans le contrat et se borner à quelques éléments importants dont la température devrait être vérifiée lors d'un parcours d'essai bien défini.

7.2 Exemples

Des exemples ont été mentionnés dans la deuxième colonne des tableaux dans le but de faciliter la classification des éléments; ces exemples ne sont pas limitatifs.

7.3 Code pour les méthodes de vérification

Les méthodes de vérification conseillées sont indiquées dans les colonnes (a) et (b) des tableaux.

La méthode préférée figure dans la colonne (a).

Le code définissant la méthode est le suivant:

- R = mesure par variation de résistance;
- T = mesure par thermomètre;
- TE = mesure par thermomètre électrique;
- P = utilisation de peintures virant à la chaleur;
- C = calcul basé sur des relevés ou enregistrements de courant, de tension, de temps, etc. effectués lors de parcours types et sur les résultats d'essais de type en plate-forme des éléments considérés;
- SC = simple confrontation avec les résultats d'essais en plate-forme.

7.4 Correction en fonction du climat

Ainsi qu'il est indiqué dans la note de l'article 6, la correction éventuelle de ϑ_{lim} en fonction du climat ne concerne que les seuls enroulements de machines tournantes, de transformateurs et d'inductances signalés par un astérisque (*) dans la colonne «Élément» des tableaux.

8. Notes des tableaux

Les textes de ces notes signalés par un numéro de 1 à 9 dans la colonne de droite des tableaux sont les suivants:

- Notes 1. – L'échauffement de ces parties de machines ne doit en aucun cas mettre en danger des bobines voisines ou d'autres parties de machines situées à proximité.
- 2. – Les symboles O, L, G, A et S désignent l'agent de refroidissement selon le code prescrit dans la Publication 310 de la CEI.
- 3. – La température de l'huile à la sortie ou à la partie supérieure de la cuve est le critère déterminant, valable pour des régimes variant assez lentement; cette considération a conduit à adopter $\vartheta_{lim} = 115$ °C pour les enroulements et $\vartheta_{lim} = 105$ °C pour l'huile ou l'askarel.
En dehors du fonctionnement en court-circuit spécifié au début de l'article 27 de la Publication 310 de la CEI, le constructeur doit s'assurer par un calcul que les surcharges importantes de courte durée prévisibles en service le plus dur ne sont pas susceptibles de conduire à des températures dangereuses pour les diverses parties du transformateur, en particulier du fait de l'impédance thermique élevée de l'isolation solide des conducteurs.
- 4. – Dans tous les cas, la température limite des enroulements doit être fixée par accord entre exploitant et constructeur compte tenu des caractéristiques du gaz et des isolants. Les valeurs du tableau sont des maximums à ne dépasser en aucun cas.

SECTION THREE – TABLES OF LIMITING TEMPERATURES

7. Notes on the use of the tables

7.1 Selection of components whose temperature may be verified in service

The tables below give the values of limiting temperature proposed for all components whose temperature-rise limits on the test-bed are specified in IEC Publications 77, 310, 322 and 349.

This does not imply, however, that during the acceptance tests of a vehicle, for example, it is necessary to verify (by measurement or by calculation) the maximum temperature reached by every one of the very numerous components of the equipment.

The wide variety of equipment and different cases makes it impossible to specify in this report a list of components of which the maximum temperature reached in service has to be measured or calculated; such a list, however, drawn up by agreement between user and manufacturer may be mentioned in the contract and limited to a few important components whose temperature should be verified during a well-defined test run.

7.2 Examples

Some examples are mentioned in the second column of the tables with a view to facilitating classification of components; these examples should not be considered as being limitative.

7.3 Code for methods of verification

The recommended methods of verification are given in columns (a) and (b) of the tables.

The preferred method is that given in column (a) in each case.

The code designating the methods is as follows:

- R = measurement by variation of resistance;
- T = measurement by thermometer;
- TE = measurement by electrical thermometer;
- P = use of temperature-sensitive paints;
- C = calculation based on measurements or recordings of current, voltage, time, etc., made during standard test runs, and on the results of type tests on the test-bed of the components concerned;
- SC = straight comparison with the results of test-bed measurements.

7.4 Correction as a function of climate

As has been stated in the Note to Clause 6, any correction of θ_{lim} as a function of climate concerns only the windings of rotating machinery, transformers and reactors marked with an asterisk (*) in the "Component" columns of the tables.

8. Notes to the tables

The texts of the notes referred to by Nos. 1 to 9 in the right-hand columns of the tables are as follows:

- Notes 1. – The temperature rise in these parts of the machines shall in no case endanger adjacent windings or other parts of the machines located nearby.
2. – The symbols O, L, G, A and S designate the coolant in accordance with the code given in IEC Publication 310.
3. – The oil temperature at the outlet or in the upper part of the container is the determining criterion and is valid for running states which change fairly slowly; this consideration has led to the adoption of $\theta_{lim} = 115\text{ °C}$ for windings and $\theta_{lim} = 105\text{ °C}$ for oil or askarel.
Apart from the short-circuit operation specified at the beginning of Clause 27 of IEC Publication 310, the manufacturer shall ensure by calculation that large short-duration overloads as predictable under the most severe service conditions are not liable to give rise to temperatures which are dangerous for the different parts of the transformer, in particular owing to the high thermal impedance of the solid insulation of the conductors.
4. – In all cases, the limiting temperatures of windings shall be laid down by agreement between manufacturer and user, taking into account the characteristics of the gas and the insulating materials. The values in the table are maxima which should in no circumstances be exceeded.

5. – La température limite du gaz doit être fixée par accord entre exploitant et constructeur compte tenu des caractéristiques du gaz, de la cuve et des isolants.
6. – Les valeurs indiquées sont applicables sous réserve qu'elles soient sans influence sur la tenue des pièces voisines.
7. – Si le contact (argent) ne doit pas couper en charge, on pourra adopter une limite plus élevée sous réserve d'accord entre exploitant et constructeur.
8. – La température limite doit être fixée par accord entre exploitant et constructeur compte tenu du matériau constitutif, des accessoires, etc.
9. – Des limites plus élevées peuvent être adoptées après accord entre exploitant et constructeur lorsque sont utilisés certains matériaux isolants (papier stabilisé imperméable, papier thermiquement stabilisé, liquide diélectrique spécial, etc.).

TABLEAU I

Températures limites admissibles en service pour les machines tournantes couvertes par la Publication 349 de la CEI

Elément	Exemples	Méthode de vérification en service		ϑ_{lim} conseillée pour isolation classe °C				Voir n° de la note
		(a) préférée	(b)	E	B	F	H	
Enroulements fixes *	Inducteurs de machines à courant continu, stators d'alternateurs	C	R	155	170	195	220	–
Enroulements tournants d'excitation *	Rotors d'alternateurs à pôles saillants, etc.	C	TE	155	170	195	220	–
Autres enroulements tournants isolés *	Induits de machines à collecteurs, rotors bobinés de moteurs asynchrones	C	R	145	160	180	200	–
Enroulements fixes ou tournants, non isolés, fermés sur eux-mêmes	Cages d'écureuil, amortisseurs, etc.	–	–	–	–	–	–	1
Lames de collecteur	Collecteurs de machines quelconques	TE	–	< 145 >				–
Bagues	de rotors alternateurs, etc.	TE	–	< 145 >				–

* Voir paragraphe 7.4.

TABLEAU II

Températures limites admissibles en service pour les transformateurs et inductances couverts par la Publication 310 de la CEI

Elément	Exemples	Méthode de vérification en service		ϑ_{lim} conseillée pour isolation classe °C					Voir n° de la note		
		(a) préférée	(b)	A	E	B	F	H			
Enroulements	Mode de refroidissement de l'enroulement										
	O, L	Transformateur principal	C	–	< 115 >					2, 3 et 9	
	G *	Transformateur principal, etc.	C	–	125	145	170	195	220	2 et 4	
	A	Conducteurs isolés *	Shunt inductif, transformateur auxiliaire	C	R	125	145	170	195	220	2
		Conducteur nu (une couche)	Inductance de lissage, etc.	TE	C	125	145	170	195	220	2
	S	Transformateur auxiliaire, etc.	C	–	125	145	170	195	220	2	
Fluides réfrigérants spéciaux	Liquides	Huile ou askarel	T ou TE	–	< 105 >					3	
	Gaz	SF ₆	T ou TE	–	–					5	

* Voir paragraphe 7.4.

5. - The limiting temperature of the gases shall be laid down by agreement between manufacturer and user, taking into account the characteristics of the gas, the container and the insulating materials.
6. - The values given are applicable subject to the reserve that they have no effect on the performance of adjacent parts.
7. - If the contact (silver) has not to break under load, a higher limit may be adopted subject to agreement between manufacturer and user.
8. - The limiting temperature shall be fixed by agreement between manufacturer and user, taking into account the material used, the accessories, etc.
9. - Higher limits may be adopted by agreement between manufacturer and user when certain insulating materials are used (moisture-repellent stabilized paper, thermally stabilized paper, special dielectric liquid, etc.).

TABLE I

Permissible limiting temperatures in service for rotating machinery covered by IEC Publication 349

Component	Examples	Method of verification in service		ϑ_{lim} recommended for insulation class °C				See Note No.
		(a) preferred	(b)	E	B	F	H	
Stationary windings *	Field systems of d. c. machinery, stators of alternators	C	R	155	170	195	220	-
Rotating field windings *	Rotors of salient pole alternators, etc.	C	TE	155	170	195	220	-
Other rotating insulated windings *	Armatures of machines with commutators, wound rotors of asynchronous motors	C	R	145	160	180	200	-
Permanently short-circuited, un-insulated stationary or rotating windings	Squirrel cages, dampers, etc.	-	-	-	-	-	-	1
Commutator segments	Commutators of any machinery	TE	-	< 145 >				-
Slip-rings	Rotors, alternators, etc.	TE	-	< 145 >				-

* See Sub-clause 7.4.

TABLE II

Permissible limiting temperatures in service for transformers and reactors covered by IEC Publication 310

Component	Examples	Method of verification in service		ϑ_{lim} recommended for insulation class °C					See Note No.		
		(a) preferred	(b)	A	E	B	F	H			
Windings	Method of cooling the winding										
	O, L	Main transformer	C	-	< 115 >					2, 3 and 9	
	G *	Main transformer, etc.	C	-	125	145	170	195	220	2 and 4	
	A	Insulated conductors *	Inductive shunt, auxiliary transformer	C	R	125	145	170	195	220	2
		Bare conductors (one layer)	Smoothing inductor, etc.	TE	C	125	145	170	195	220	2
	S	Auxiliary transformer, etc.	C	-	125	145	170	195	220	2	
Special coolants	Liquids	Oil or askarel	T or TE	-	< 105 >					3	
	Gases	SF ₆	T or TE	-	-					5	

* See Sub-clause 7.4.