

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 354

Première édition — First edition

1972

Guide de charge pour transformateurs immergés dans l'huile

Loading guide for oil-immersed transformers



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60354:1972

Withdrawn

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 354

Première édition — First edition

1972

Guide de charge pour transformateurs immergés dans l'huile

Loading guide for oil-immersed transformers



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

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

GUIDE DE CHARGE POUR TRANSFORMATEURS IMMERGÉS DANS L'HUILE

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 cette unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux en possédant pas encore de règles nationales, lorsqu'ils préparent ces règles, prennent comme base fondamentale de ces règles les recommandations de la CEI dans la mesure où les conditions nationales le permettent.
- 4) On reconnaît qu'il est désirable que l'accord international sur ces questions soit suivi d'un effort pour harmoniser les règles nationales de normalisation avec ces recommandations dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Les Comités nationaux s'engagent à user de leur influence dans ce but.

PRÉFACE

La présente recommandation a été établie par le Comité d'Etudes N° 14 de la CEI : Transformateurs de puissance.

Un premier projet fut discuté lors de la réunion tenue à Zagreb en 1967. A la suite de cette réunion, un projet définitif de la partie principale de la publication et de l'annexe A fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en avril 1969. Un projet définitif de l'annexe B fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en janvier 1970.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication :

Afrique du Sud	Japon *
Allemagne	Norvège
Australie	Pays-Bas
Autriche	Pologne
Belgique	Roumanie *
Danemark	Royaume-Uni
Etats-Unis d'Amérique	Suède
Finlande	Suisse
France	Tchécoslovaquie
Hongrie	Turquie
Iran **	Union des Républiques
Israël	Socialistes Soviétiques *
Italie	Yougoslavie

* A voté en faveur de la partie principale de la publication et de l'annexe A seulement.

** A voté en faveur de l'annexe B seulement.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**LOADING GUIDE FOR OIL-IMMERSED
TRANSFORMERS**

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 this international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees having as yet no national rules, when preparing such rules, should use the IEC recommendations as the fundamental basis for these rules in so far as national conditions will permit.
- 4) The desirability is recognized of extending international agreement on these matters through an endeavour to harmonize national standardization rules with these recommendations in so far as national conditions will permit. The National Committees pledge their influence towards that end.

PREFACE

This Recommendation has been prepared by IEC Technical Committee No. 14, Power Transformers.

A draft was discussed at the meeting held in Zagreb in 1967. As a result of this meeting a final draft of the main part of the publication and Appendix A was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in April 1969. A final draft of Appendix B was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in January 1970.

The following countries voted explicitly in favour of publication :

Australia	Netherlands
Austria	Norway
Belgium	Poland
Czechoslovakia	Romania *
Denmark	South Africa
Finland	Sweden
France	Switzerland
Germany	Turkey
Hungary	Union of Soviet
Iran **	Socialist Republics *
Israel	United Kingdom
Italy	United States of America
Japan *	Yugoslavia

* Voted in favour of the main part of the publication and Appendix A only.

** Voted in favour of Appendix B only.

La méthode générale décrite à l'annexe A s'applique également aux cas où le diagramme de charge est une fonction quelconque du temps.

Notes 1. — Ce guide se limite à des considérations d'ordre thermique. D'autres considérations, notamment d'ordre économique (capitalisation de pertes, etc.), peuvent déterminer le choix de la puissance nominale.

2. — L'attention est attirée sur le fait qu'un transformateur qui a fonctionné à une puissance supérieure à la puissance nominale peut ne pas satisfaire aux exigences thermiques relatives au court-circuit spécifiées dans la Publication 76 (1967) de la CEI.

3. Limitations adoptées dans le guide

On a supposé, dans la préparation de ce guide, les limitations suivantes relatives au fonctionnement du transformateur :

a) En service cyclique normal (voir article 2b)), le courant ne dépasse pas 1,5 fois la valeur nominale.

Note. — S'il est nécessaire de transporter en toute sécurité et pendant les durées autorisées par le guide des courants dont la valeur peut aller jusqu'à la limite précédente, il convient que les bornes, le changeur de prise et les divers accessoires soient adaptés au service demandé. Du fait que la Publication 76 de la CEI ne définit pas les possibilités de charge de ces accessoires, il convient de s'adresser au constructeur pour déterminer s'ils sont adaptés et, si ce n'est pas le cas, il faudra accepter des limites de charge et de durée inférieures. L'utilisateur doit s'assurer de la capacité thermique de l'équipement associé, par exemple câbles, disjoncteurs et transformateurs de courant.

b) En aucun cas, la température du point chaud des enroulements ne dépasse 140 °C.

Note. — Plusieurs auteurs ont mentionné le fait que, au-dessus de 140 °C, la Loi d'Arrhenius n'est pas complètement applicable ; cela est dû aux effets de dégradation accélérée résultant soit de la formation de produits de dégradation trop rapide pour que ceux-ci soient entraînés par l'huile, soit de l'apparition d'une phase gazeuse, assez rapide pour conduire à une sursaturation et à la formation de bulles pouvant menacer la rigidité diélectrique.

c) Pour les services de secours, il est possible d'admettre des courants dépassant 1,5 fois le courant nominal et des cycles de charge qui donnent une vitesse de dégradation de l'isolation supérieure à la normale pourvu que la température du point chaud n'excède pas 140 °C, que tous les accessoires soient capables de supporter la surcharge et que la température de l'huile ne dépasse pas 115 °C. Des valeurs de courants supérieures à 1,5 fois le courant nominal, mais qui ne donnent pas de dégradation de l'isolation supérieure à la normale, figurent en italique dans les tableaux I à X, pages 18 à 27.

Notes 1. — L'annexe B indique la consommation journalière de vie pour différents diagrammes de charge qui ne conduisent pas à une température de point chaud dépassant 140 °C. La relation entre la consommation de vie et le diagramme de charge est donnée à l'annexe A, paragraphe 2.3.

2. — La limite de 115 °C pour l'huile a été fixée en considérant le risque que l'huile déborde quand sa température est supérieure à la normale. Toutefois, compte tenu des dispositions prises pour l'expansion de l'huile dans un transformateur particulier, l'huile peut déborder à des températures inférieures à 115 °C.

4. Symboles utilisés dans les tableaux

Quatre symboles seulement sont utilisés dans les tableaux, ce sont :

K_1 = charge initiale exprimée en fraction de la puissance nominale

K_2 = charge admissible exprimée en fraction de la puissance nominale (le plus souvent supérieure à l'unité)

t = durée de K_2 , en heures

θ_a = température du milieu réfrigérant (air ou eau)

Note. — $K_1 = \frac{S_1}{S_r}$ et $K_2 = \frac{S_2}{S_r}$

où : S_1 est la charge initiale, S_2 est la charge admissible, et S_r est la puissance nominale.

The general method described in Appendix A is also applicable to duties with any sort of load diagram as a function of time.

Notes 1. — This guide is restricted to thermal considerations. Other considerations, notably economic (capitalisation of losses, etc.), may determine the choice of rated power.

2. — Attention is drawn to the fact that a transformer that has been operating at load powers greater than the rated power may not comply with the thermal requirements on short-circuit specified in IEC Publication 76 (1967).

3. Limitations adopted in the guide

In preparing this guide, the following limitations on the operation of the transformer have been assumed :

a) For normal cyclic duty (see Clause 2b)), the current does not exceed 1.5 times rated value.

Note. — If currents up to this limit, and for the durations permitted by this guide, are to be carried with safety, it is necessary for the terminal outlets, the tap-change device and similar attachments also to be suitable for the duty. Because IEC Publication 76 does not define the loading possibility of these fittings, their suitability should be determined by reference to the manufacturer and, if they are found not to be suitable, lower limits of loading and duration will need to be accepted. The user should ascertain the thermal capability of associated equipment, e.g. cables, circuit-breakers and current transformers.

b) That in no case a hot-spot temperature of 140 °C in the windings is exceeded.

Note. — It has been mentioned by various authors that above 140 °C the Arrhenius Law is not completely applicable, owing to accelerated deterioration effects, either because the formation of deterioration products is too fast for them to be taken away by the oil, or because a gaseous phase is started, sufficiently rapid to lead to over-saturation and the formation of bubbles which may endanger the electric strength.

c) For emergency duty, currents in excess of 1.5 times rated value and load cycles which give greater than normal rate of insulation deterioration are permissible, provided that the hot-spot temperature of 140 °C is not exceeded, that the fittings and associated equipment are capable of carrying the overload, and that the oil temperature does not exceed 115 °C. Currents in excess of 1.5 times rated value in load cycles which produce a rate of insulation deterioration not greater than normal are included, in italics, in Tables I to X, pages 18 to 27.

Notes 1. — Appendix B indicates the daily use of life for various load diagrams which do not result in a hot-spot temperature exceeding 140 °C. Life usage related to load diagrams is considered in Appendix A, Sub-clause 2.3.

2. — The limit of 115 °C for the oil temperature has been set bearing in mind that the oil may overflow at oil temperatures above normal. Depending on the provision made for oil expansion on a particular transformer, the oil may overflow at temperatures lower than 115 °C.

4. Symbols used in the tables

Only four symbols are used in the tables, as follows :

K_1 = initial load power as a fraction of rated power

K_2 = permissible load power as a fraction of rated power (usually greater than unity)

t = duration of K_2 , in hours

θ_a = temperature of cooling medium (air or water)

Note. — $K_1 = \frac{S_1}{S_r}$ and $K_2 = \frac{S_2}{S_r}$

where : S_1 is the initial load power, S_2 is the permissible load power, and S_r is the rated power.

Note. — Cette température de 98 °C correspond au fonctionnement dans une température ambiante de 20 °C, au régime nominal, d'un transformateur dont l'échauffement du point chaud de l'enroulement est de 78 deg C (comme indiqué à l'annexe A, article 1). Cette situation apparaît en pratique, en particulier lorsqu'un transformateur, installé dans une région où la température effective annuelle de l'air ambiant (moyenne pondérée selon l'annexe A, article 3) est de 20 °C, fonctionne continuellement à la puissance nominale.

Les périodes de vieillissement accéléré résultant d'une température ambiante supérieure à 20 °C (et d'une température du point chaud de l'enroulement supérieure à 98 °C) sont alors compensées par des périodes de vieillissement lent quand la température ambiante est inférieure à 20 °C (et la température du point chaud de l'enroulement inférieure à 98 °C).

c) Températures du point chaud de l'enroulement

Les températures du point chaud de l'enroulement supérieures à 140 °C ne sont pas autorisées.

d) Diagramme de charge type

Le diagramme de charge simplifié correspondant à un service cyclique journalier, représenté sur la figure 1, page 10, a été retenu ; il comporte, au cours d'une période journalière de 24 h :

- une charge initiale K_1 ;
- suivie par une charge K_2 d'une durée de t h ;
- suivie d'un retour à la charge initiale K_1 pour le reste des 24 h.

Note. — Les tableaux donnent le service cyclique journalier admissible correspondant à une consommation journalière de vie normale, (égale à ce qui serait consommé pendant 24 h à 98 °C). Si le diagramme de charge réel comporte deux ou plus de deux périodes de forte charge séparées par des périodes de faible charge, le temps de forte charge t , tel qu'il est représenté sur la figure 1, peut être pris comme étant la somme des temps de forte charge. Cette condition de forte charge intermittente est moins sévère qu'une période unique de forte charge de durée t .

e) Paramètres des tableaux

Les cinq paramètres des tableaux sont :

- 1) Type de réfrigération : ONAN et ONAF : tableaux I à V
OFAF et OFWF : tableaux VI à X.
- 2) Constante de temps thermique huile - air : 3 h pour ONAN et ONAF
2 h pour OFAF et OFWF.
- 3) Température du milieu réfrigérant : 5 cas : (0 °C ; 10 °C ; 20 °C ; 30 °C ; 40 °C).
- 4) Charge initiale (K_1) : 6 valeurs : (0 à 0,25 ; 0,5 ; 0,7 ; 0,8 ; 0,9 et 1).
- 5) Durée de la charge K_2 : 8 valeurs : (0,5 h ; 1 h ; 2 h ; 4 h ; 6 h ; 8 h ; 12 h et 24 h).

Pour le paramètre 1), on obtient une précision suffisante avec un seul jeu de tableaux pour les transformateurs ONAN et ONAF, l'écart sur le coefficient K_2 n'étant que de l'ordre de 1% à 2%. Pour le paramètre 2), l'effet de la constante de temps thermique huile - air est négligeable pour des charges de longue durée. Même pour des charges de courte durée l'effet se réduit à :

$$\begin{aligned} &\pm 2\% \text{ entre 2,5 h et 3,5 h pour ONAN et ONAF ;} \\ &\pm 2\% \text{ entre 1,5 h et 3 h pour OFAF et OFWF.} \end{aligned}$$

Les tableaux I à V, pages 18 à 22, (correspondant chacun à une valeur déterminée de θ_a) concernent la réfrigération ONAN et ONAF.

Les tableaux VI à X, pages 23 à 27, (correspondant chacun à une valeur déterminée de θ_a) concernent la réfrigération OFAF et OFWF.

f) Détermination de la puissance nominale S_r d'un transformateur pour un service donné

On peut utiliser les courbes fournies avec chaque tableau pour déterminer la puissance nominale d'un transformateur (avec une durée de vie normale) pour une charge définie conformément à la figure 1, page 10, avec $S_1 = K_1 S_r$ et $S_2 = K_2 S_r$ (durée de S_2 égale à t). Il suffit de trouver l'intersection de la courbe avec la ligne de pente constante :

$$\frac{K_2}{K_1} = \frac{S_2}{S_1} \text{ qui définit } K_1 \text{ et } K_2 \text{ et par suite } S_r.$$

La ligne de pente constante peut être trouvée en marquant le point d'ordonnée $K_2 = 1$ et celui d'abscisse $K_1 = 1$ et en les joignant. (Voir, par exemple, la figure 2, page 16.)

Note. — This temperature of 98 °C corresponds to operation in an ambient temperature of 20 °C at the rated power of a transformer having a temperature rise at the winding hot spot of 78 deg C (as detailed in Appendix A, Clause 1). This situation is obtained in practice, in particular, when a transformer installed in a region where the annual effective ambient air temperature (weighted average according to Appendix A, Clause 3) is 20 °C, operates continuously at rated power.

Periods of accelerated ageing when the ambient temperature is greater than 20 °C (and the winding hot-spot temperature greater than 98 °C) are then compensated for by periods of slow ageing, when the ambient temperature is below 20 °C (and the winding hot-spot temperature less than 98 °C).

c) Winding hot-spot temperatures

Winding hot-spot temperatures above 140 °C are prohibited.

d) Typical load diagram

The simplified load diagram for cyclic daily duty shown in Figure 1, page 11, has been adopted, where in a daily 24-hour period :

- the initial load power K_1 ;
- is followed by a load power K_2 of duration t h ;
- followed by a return to the initial load power K_1 for the remainder of the 24 h.

Note. — The tables give permissible cyclic daily duty with a normal life consumption of 24 h per day, equal to that consumed during 24 h at 98 °C. If the actual load diagram has two or more periods of high load separated by periods of low load, the high loading time t , as represented in Figure 1, can be taken as the summation of the high loading times. This condition of intermittent high load is less onerous than a single high load for the same total time t .

e) Parameters of the tables

The five parameters of the tables are :

- 1) Type of cooling : ONAN and ONAF : Tables I to V
OFAF and OFWF : Tables VI to X.
- 2) Oil - air thermal time constant : 3 h for ONAN and ONAF
2 h for OFAF and OFWF.
- 3) Cooling-medium temperature : 5 cases : (0 °C ; 10 °C ; 20 °C ; 30 °C ; 40 °C).
- 4) Initial load power (K_1) : 6 values : (0 to 0.25 ; 0.5 ; 0.7 ; 0.8 ; 0.9 and 1).
- 5) Duration of load power K_2 : 8 values : (0.5 h ; 1 h ; 2 h ; 4 h ; 6 h ; 8 h ; 12 h and 24 h).

For parameter 1), sufficient accuracy is obtained by having a single set of tables for ONAN and ONAF transformers, the deviation of the coefficient K_2 being only of the order of 1% to 2%. For parameter 2), the effect of the oil - air thermal time constant is negligible for long-time loads. Even for short-time loads the effect is only :

- ±2% between 2.5 h and 3.5 h for ONAN and ONAF ;
- ±2% between 1.5 h and 3.0 h for OFAF and OFWF.

Tables I to V, pages 18 to 22, (each for a specific value of θ_a) are for ONAN and ONAF cooling.

Tables VI to X, pages 23 to 27, (each for a specific value of θ_a) are for OFAF and OFWF cooling.

f) Determination of the rated power S_r of a transformer for a given service

The curves given with each table can be used for determining the rated power of a transformer (with normal life duration) for a load defined according to Figure 1, page 11, for $S_1 = K_1 S_r$ and $S_2 = K_2 S_r$ of duration t . It is only necessary to find the intersection of the curve with the line of constant slope :

$$\frac{K_2}{K_1} = \frac{S_2}{S_1} \text{ which defines } K_1 \text{ and } K_2, \text{ whence } S_r.$$

The line of constant slope can be found by marking corresponding points on ordinate $K_2 = 1$ and abscissa $K_1 = 1$ and joining them. (See, for example, Figure 2, page 17.)

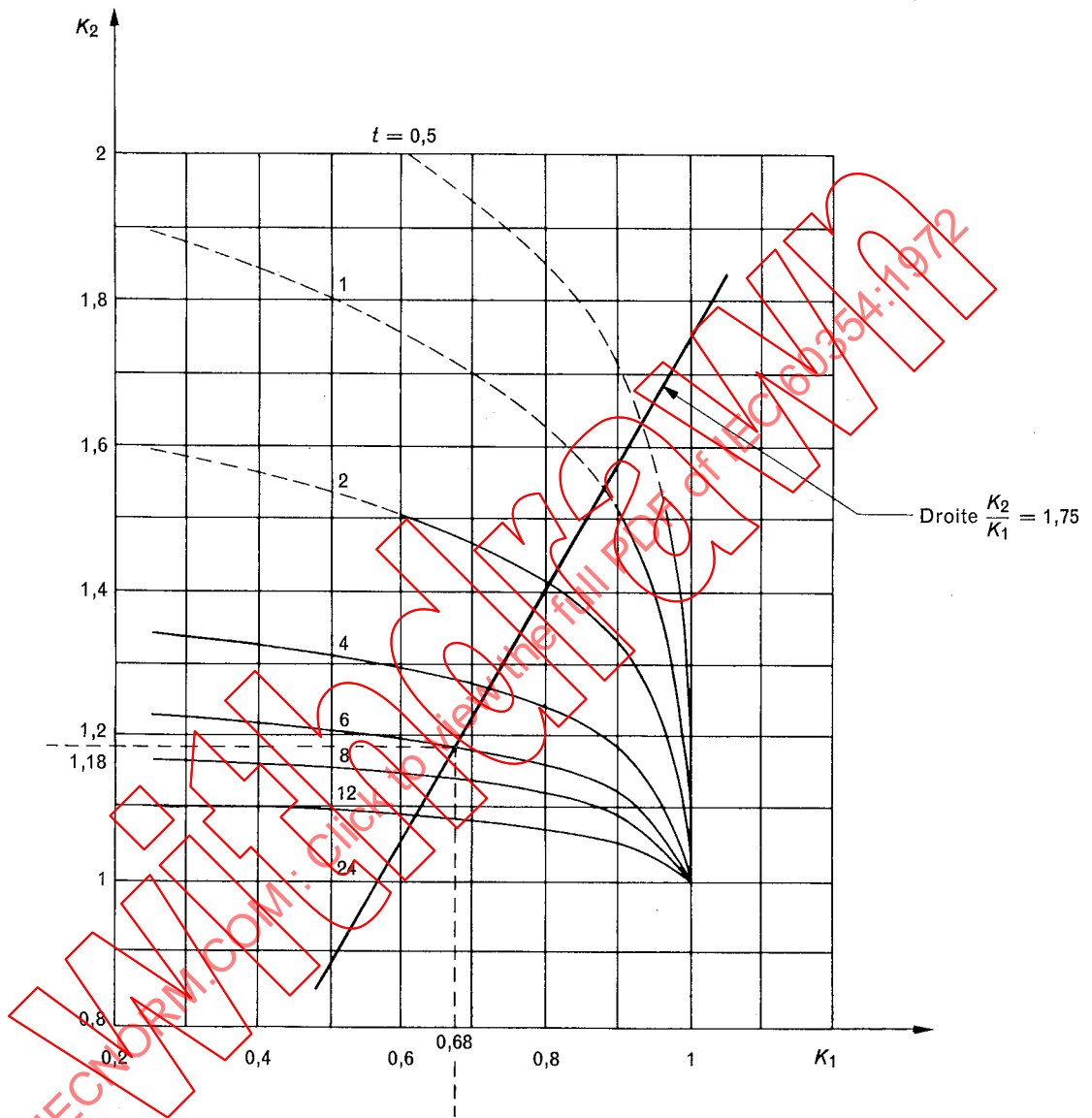


FIG. 2. — Illustration de l'exemple 2.

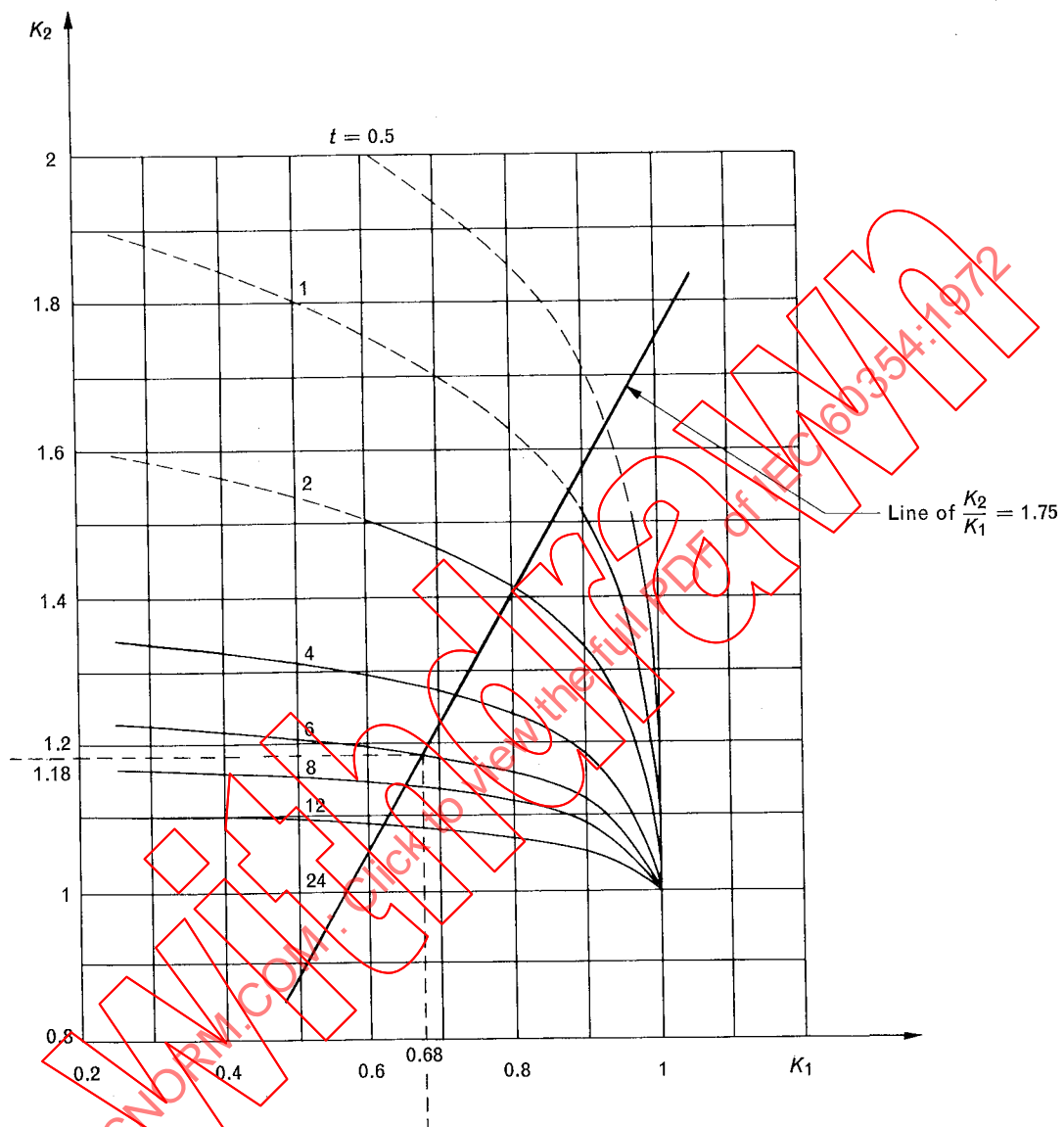


FIG. 2. — Illustration of example 2.

TABLEAU I

Transformateurs ONAN et ONAF : $\theta_a = 0^\circ\text{C}$
Valeurs de K_2 pour des valeurs données de K_1 et t

Note. — En service cyclique normal, la valeur de K_2 ne doit pas être supérieure à 1,5. Les valeurs de K_2 supérieures à 1,5, imprimées en italique, s'appliquent aux services de secours. (Voir article 3.)
Le signe + indique que K_2 est supérieur à 2,0.

TABLE I

ONAN and ONAF transformers : $\theta_a = 0^\circ\text{C}$
Values of K_2 for given values of K_1 and t

Note. — In normal cyclic duty the value of K_2 should not be greater than 1.5. The values of K_2 greater than 1.5, printed in italics, apply to emergency duties. (See Clause 3.)
The + sign indicates that K_2 is higher than 2.0.

	$K_1 = 0.25$	$K_1 = 0.50$	$K_1 = 0.70$	$K_1 = 0.80$	$K_1 = 0.90$	$K_1 = 1.00$
$t = 0.5$	+	+	+	+	+	1.93
$t = 1$	+	+	1.94	1.88	1.81	1.72
$t = 2$	1.78	1.73	1.67	1.63	1.58	1.52
$t = 4$	1.51	1.48	1.45	1.43	1.40	1.36
$t = 6$	1.38	1.37	1.35	1.34	1.32	1.30
$t = 8$	1.32	1.31	1.30	1.29	1.28	1.26
$t = 12$	1.25	1.25	1.24	1.24	1.23	1.22
$t = 24$	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16

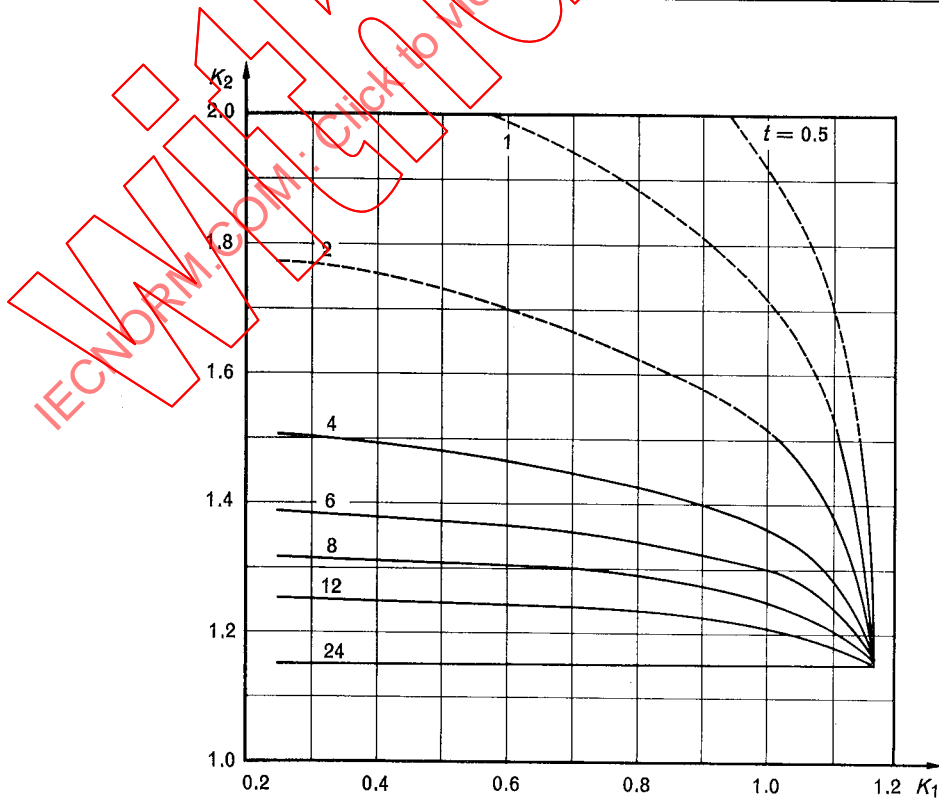


TABLEAU II

Transformateurs ONAN et ONAF : $\theta_a = 10^\circ\text{C}$
Valeurs de K_2 pour des valeurs données de K_1 et t

Note. — En service cyclique normal, la valeur de K_2 ne doit pas être supérieure à 1,5. Les valeurs de K_2 supérieures à 1,5, imprimées en italique, s'appliquent aux services de secours. (Voir article 3.)
Le signe + indique que K_2 est supérieur à 2,0.

TABLE II

ONAN and ONAF transformers : $\theta_a = 10^\circ\text{C}$
Values of K_2 for given values of K_1 and t

Note. — In normal cyclic duty the value of K_2 should not be greater than 1.5. The values of K_2 greater than 1.5, printed in italics, apply to emergency duties. (See Clause 3.)
The + sign indicates that K_2 is higher than 2.0.

	$K_1 = 0.25$	$K_1 = 0.50$	$K_1 = 0.70$	$K_1 = 0.80$	$K_1 = 0.90$	$K_1 = 1.00$
$t = 0.5$	+	+	+	1.99	1.88	1.73
$t = 1$	2.00	1.92	1.82	1.76	1.67	1.54
$t = 2$	1.69	1.63	1.57	1.52	1.47	1.37
$t = 4$	1.42	1.39	1.36	1.33	1.30	1.24
$t = 6$	1.31	1.29	1.27	1.25	1.23	1.19
$t = 8$	1.24	1.23	1.22	1.21	1.19	1.15
$t = 12$	1.17	1.17	1.16	1.16	1.15	1.12
$t = 24$	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08

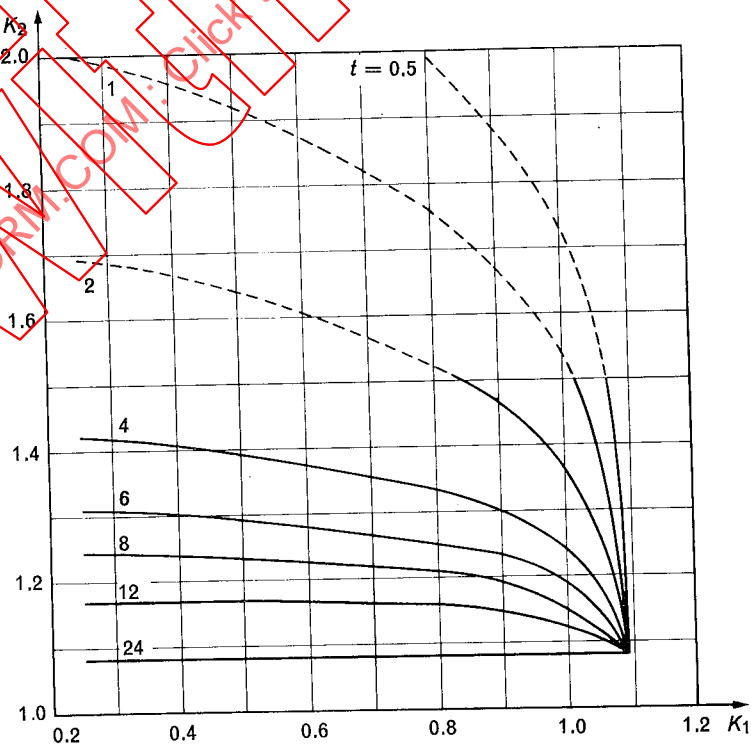


TABLEAU III

Transformateurs ONAN et ONAF : $\theta_a = 20^\circ\text{C}$
Valeurs de K_2 pour des valeurs données de K_1 et t

Note. — En service cyclique normal, la valeur de K_2 ne doit pas être supérieure à 1,5. Les valeurs de K_2 supérieures à 1,5, imprimées en italique, s'appliquent aux services de secours. (Voir article 3.)
Le signe + indique que K_2 est supérieur à 2,0.

TABLE III

ONAN and ONAF transformers : $\theta_a = 20^\circ\text{C}$
Values of K_2 for given values of K_1 and t

Note. — In normal cyclic duty the value of K_2 should not be greater than 1.5. The values of K_2 greater than 1.5, printed in italics, apply to emergency duties. (See Clause 3.)
The + sign indicates that K_2 is higher than 2.0.

	$K_1 = 0.25$	$K_1 = 0.50$	$K_1 = 0.70$	$K_1 = 0.80$	$K_1 = 0.90$	$K_1 = 1.00$
$t = 0.5$	+	+	<i>1.93</i>	<i>1.83</i>	<i>1.69</i>	1.00
$t = 1$	<i>1.89</i>	<i>1.80</i>	<i>1.70</i>	<i>1.62</i>	<i>1.50</i>	1.00
$t = 2$	<i>1.59</i>	<i>1.53</i>	<i>1.46</i>	<i>1.41</i>	<i>1.32</i>	1.00
$t = 4$	<i>1.34</i>	<i>1.31</i>	<i>1.27</i>	<i>1.24</i>	<i>1.18</i>	1.00
$t = 6$	<i>1.23</i>	<i>1.21</i>	<i>1.18</i>	<i>1.16</i>	<i>1.12</i>	1.00
$t = 8$	<i>1.16</i>	<i>1.15</i>	<i>1.13</i>	<i>1.12</i>	<i>1.09</i>	1.00
$t = 12$	<i>1.10</i>	<i>1.09</i>	<i>1.08</i>	<i>1.07</i>	<i>1.05</i>	1.00
$t = 24$	<i>1.00</i>	<i>1.00</i>	<i>1.00</i>	<i>1.00</i>	<i>1.00</i>	1.00

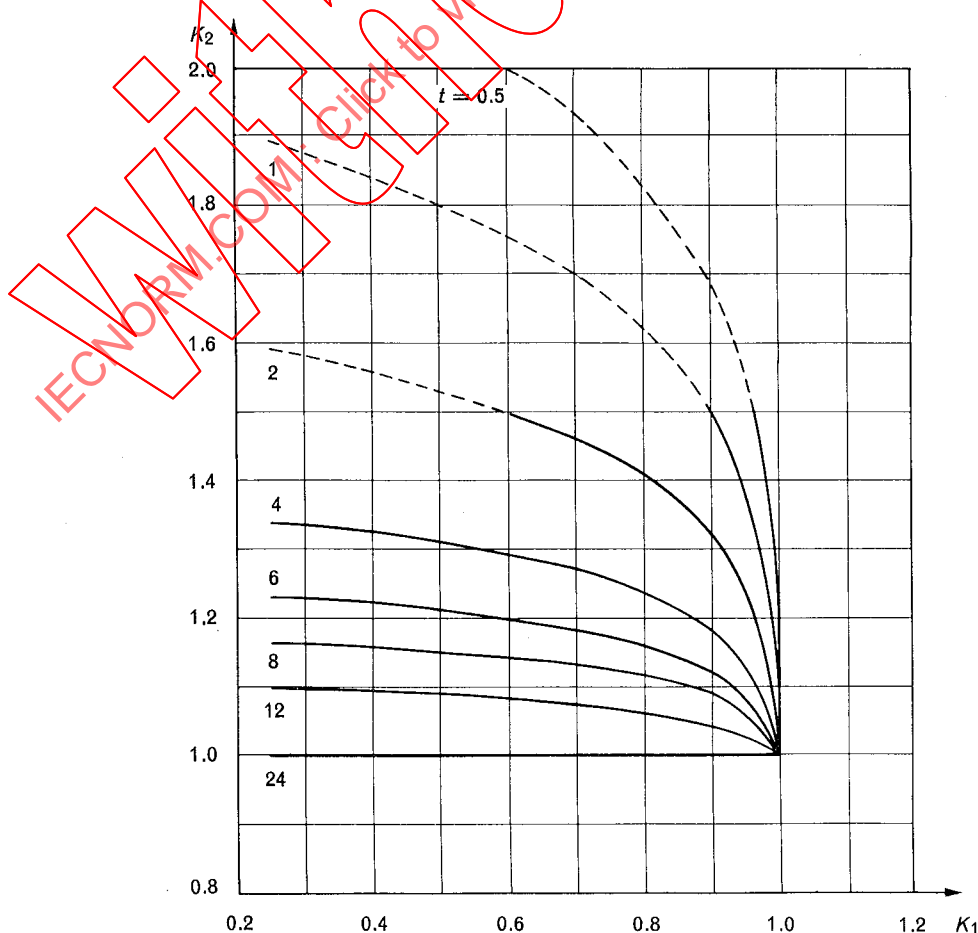


TABLEAU IV

Transformateurs ONAN et ONAF : $\theta_a = 30^\circ\text{C}$
Valeurs de K_2 pour des valeurs données de K_1 et t

Note. — En service cyclique normal, la valeur de K_2 ne doit pas être supérieure à 1,5. Les valeurs de K_2 supérieures à 1,5, imprimées en italique, s'appliquent aux services de secours. (Voir article 3.)
Le signe + indique que K_2 est supérieur à 2,0.

TABLE IV

ONAN and ONAF transformers : $\theta_a = 30^\circ\text{C}$
Values of K_2 for given values of K_1 and t

Note. — In normal cyclic duty the value of K_2 should not be greater than 1.5. The values of K_2 greater than 1.5, printed in italics, apply to emergency duties. (See Clause 3.)
The + sign indicates that K_2 is higher than 2.0.

	$K_1 = 0.25$	$K_1 = 0.50$	$K_1 = 0.70$	$K_1 = 0.80$	$K_1 = 0.90$	$K_1 = 1.00$
$t = 0.5$	+	1.92	1.78	1.64	1.26	—
$t = 1$	1.76	1.68	1.55	1.45	1.10	—
$t = 2$	1.49	1.42	1.34	1.26	0.99	—
$t = 4$	1.24	1.21	1.16	1.11	0.95	—
$t = 6$	1.14	1.11	1.08	1.04	0.93	—
$t = 8$	1.08	1.06	1.04	1.01	0.93	—
$t = 12$	1.01	1.00	0.99	0.97	0.92	—
$t = 24$	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	—

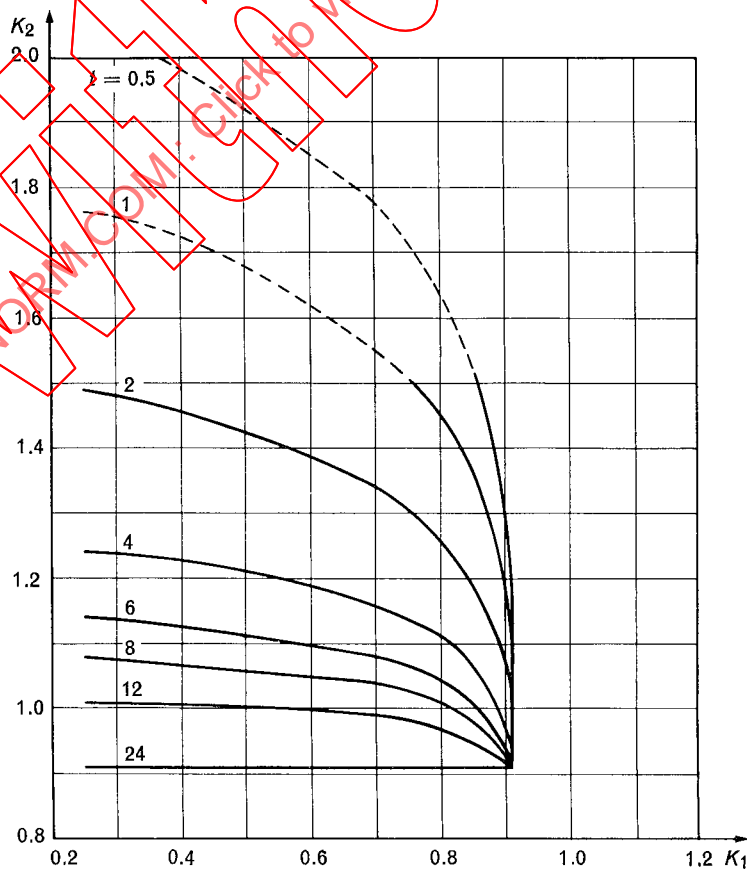


TABLEAU V

Transformateurs ONAN et ONAF : $\theta_a = 40^\circ\text{C}$
Valeurs de K_2 pour des valeurs données de K_1 et t

Note. — En service cyclique normal, la valeur de K_2 ne doit pas être supérieure à 1,5. Les valeurs de K_2 supérieures à 1,5, imprimées en italique, s'appliquent aux services de secours. (Voir article 3.)

TABLE V

ONAN and ONAF transformers : $\theta_a = 40^\circ\text{C}$
Values of K_2 for given values of K_1 and t

Note. — In normal cyclic duty the value of K_2 should not be greater than 1.5. The values of K_2 greater than 1.5, printed in italics, apply to emergency duties. (See Clause 3.)

	$K_1 = 0.25$	$K_1 = 0.50$	$K_1 = 0.70$	$K_1 = 0.80$	$K_1 = 0.90$	$K_1 = 1.00$
$t = 0.5$	1.90	1.77	1.58	1.18	—	—
$t = 1$	1.64	1.54	1.37	1.04	—	—
$t = 2$	1.37	1.30	1.18	0.95	—	—
$t = 4$	1.15	1.10	1.03	0.88	—	—
$t = 6$	1.04	1.01	0.96	0.86	—	—
$t = 8$	0.98	0.96	0.92	0.84	—	—
$t = 12$	0.92	0.91	0.88	0.83	—	—
$t = 24$	0.82	0.82	0.82	0.82	—	—

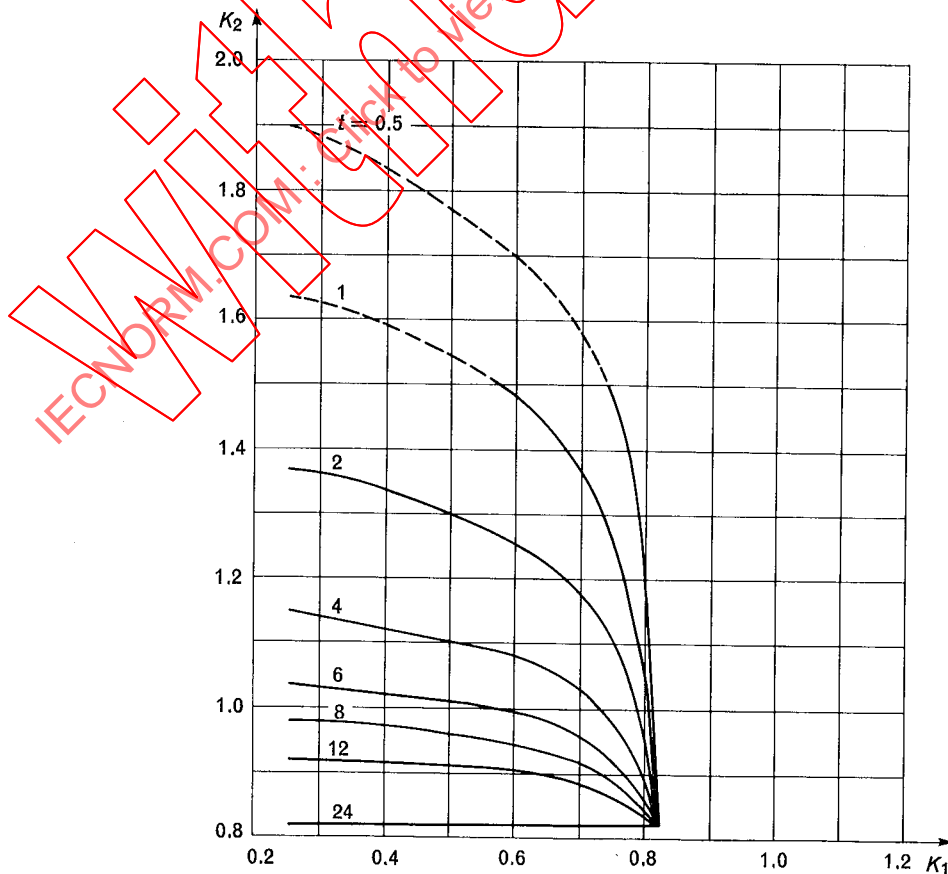


TABLEAU VI

Transformateurs OFAF et OFWF : $\theta_a = 0^\circ\text{C}$
Valeurs de K_2 pour des valeurs données de K_1 et t

Note. — En service cyclique normal, la valeur de K_2 ne doit pas être supérieure à 1,5. Les valeurs de K_2 supérieures à 1,5, imprimées en italique, s'appliquent aux services de secours. (Voir article 3.)

TABLE VI

OFAF and OFWF transformers : $\theta_a = 0^\circ\text{C}$
Values of K_2 for given values of K_1 and t

Note. — In normal cyclic duty the value of K_2 should not be greater than 1.5. The values of K_2 greater than 1.5, printed in italics, apply to emergency duties. (See Clause 3.)

	$K_1 = 0.25$	$K_1 = 0.50$	$K_1 = 0.70$	$K_1 = 0.80$	$K_1 = 0.90$	$K_1 = 1.00$
$t = 0.5$	1.77	1.73	1.68	1.64	1.60	1.55
$t = 1$	1.63	1.61	1.55	1.52	1.49	1.45
$t = 2$	1.47	1.45	1.42	1.41	1.38	1.36
$t = 4$	1.33	1.32	1.31	1.30	1.29	1.27
$t = 6$	1.27	1.26	1.26	1.25	1.24	1.23
$t = 8$	1.23	1.23	1.22	1.22	1.22	1.21
$t = 12$	1.19	1.19	1.19	1.19	1.18	1.18
$t = 24$	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14

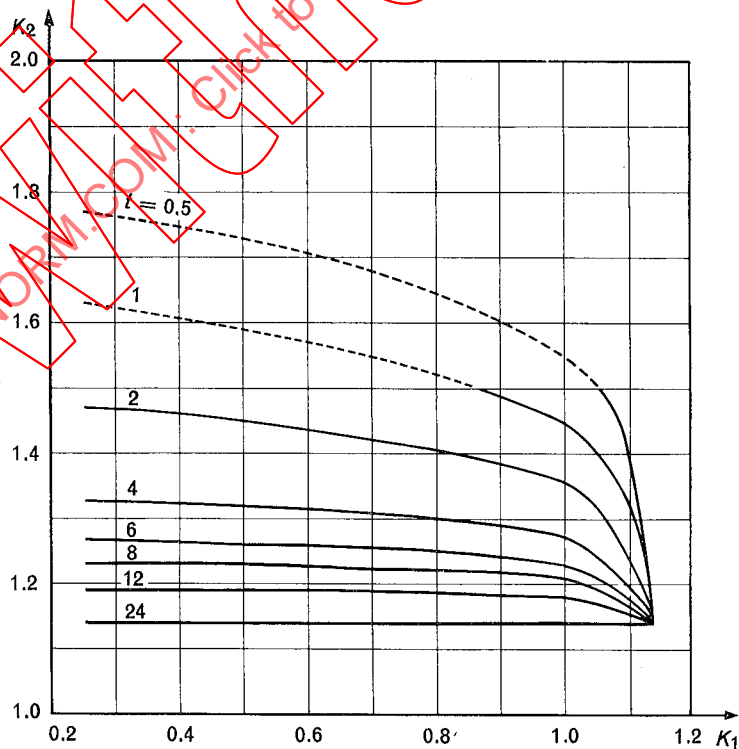


TABLEAU VII

*Transformateurs OFAF et OFWF : $\theta_a = 10^\circ\text{C}$
Valeurs de K_2 pour des valeurs données de K_1 et t*

Note. — En service cyclique normal, la valeur de K_2 ne doit pas être supérieure à 1,5. Les valeurs de K_2 supérieures à 1,5, imprimées en italique, s'appliquent aux services de secours. (Voir article 3.)

TABLE VII

*OFAF and OFWF transformers : $\theta_a = 10^\circ\text{C}$
Values of K_2 for given values of K_1 and t*

Note. — In normal cyclic duty the value of K_2 should not be greater than 1.5. The values of K_2 greater than 1.5, printed in italics, apply to emergency duties. (See Clause 3.)

	$K_1 = 0.25$	$K_1 = 0.50$	$K_1 = 0.70$	$K_1 = 0.80$	$K_1 = 0.90$	$K_1 = 1.00$
$t = 0.5$	1.70	1.65	1.60	1.56	1.52	1.45
$t = 1$	1.57	1.53	1.48	1.45	1.42	1.35
$t = 2$	1.41	1.38	1.36	1.34	1.31	1.26
$t = 4$	1.27	1.26	1.24	1.23	1.22	1.19
$t = 6$	1.21	1.20	1.19	1.19	1.18	1.15
$t = 8$	1.17	1.17	1.16	1.15	1.15	1.13
$t = 12$	1.13	1.13	1.12	1.12	1.12	1.10
$t = 24$	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07

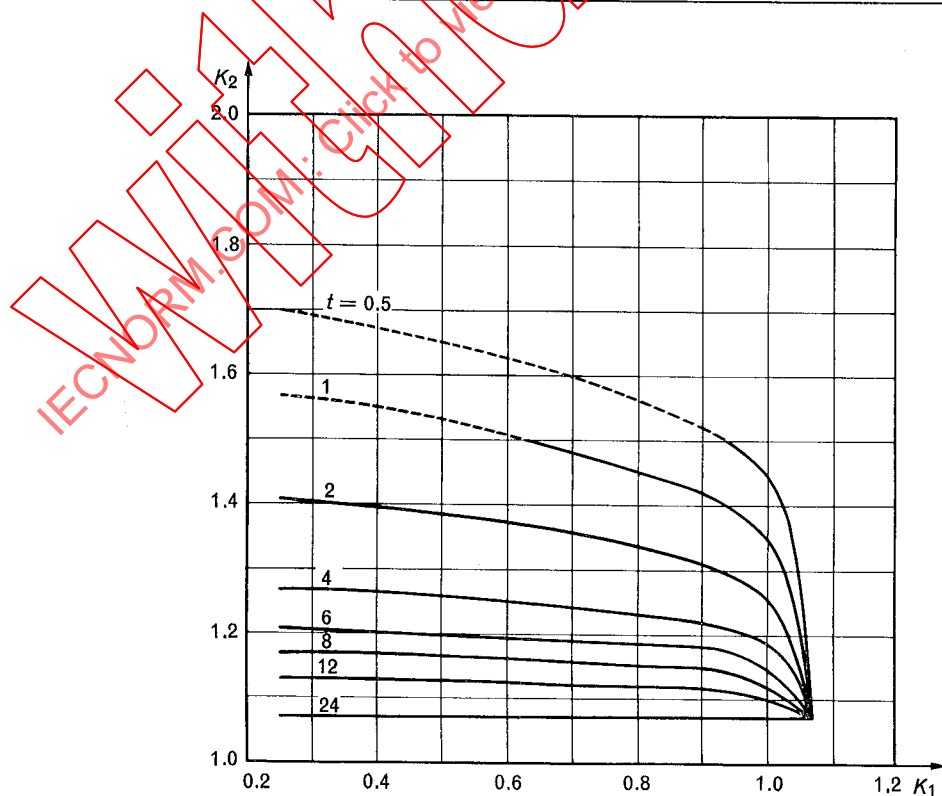


TABLEAU VIII

*Transformateurs OFAF et OFWF : $\theta_a = 20^\circ\text{C}$
Valeurs de K_2 pour des valeurs données de K_1 et t*

Note. — En service cyclique normal, la valeur de K_2 ne doit pas être supérieure à 1,5. Les valeurs de K_2 supérieures à 1,5, imprimées en italique, s'appliquent aux services de secours. (Voir article 3.)

TABLE VIII

*OFAF and OFWF transformers : $\theta_a = 20^\circ\text{C}$
Values of K_2 for given values of K_1 and t*

Note. — In normal cyclic duty the value of K_2 should not be greater than 1.5. The values of K_2 greater than 1.5, printed in italics, apply to emergency duties. (See Clause 3.)

	$K_1 = 0.25$	$K_1 = 0.50$	$K_1 = 0.70$	$K_1 = 0.80$	$K_1 = 0.90$	$K_1 = 1.00$
$t = 0.5$	1.61	1.57	1.51	1.46	1.41	1.00
$t = 1$	1.48	1.44	1.39	1.36	1.31	1.00
$t = 2$	1.33	1.30	1.27	1.25	1.21	1.00
$t = 4$	1.19	1.18	1.16	1.15	1.13	1.00
$t = 6$	1.13	1.12	1.11	1.10	1.09	1.00
$t = 8$	1.10	1.09	1.08	1.08	1.06	1.00
$t = 12$	1.06	1.05	1.05	1.05	1.04	1.00
$t = 24$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

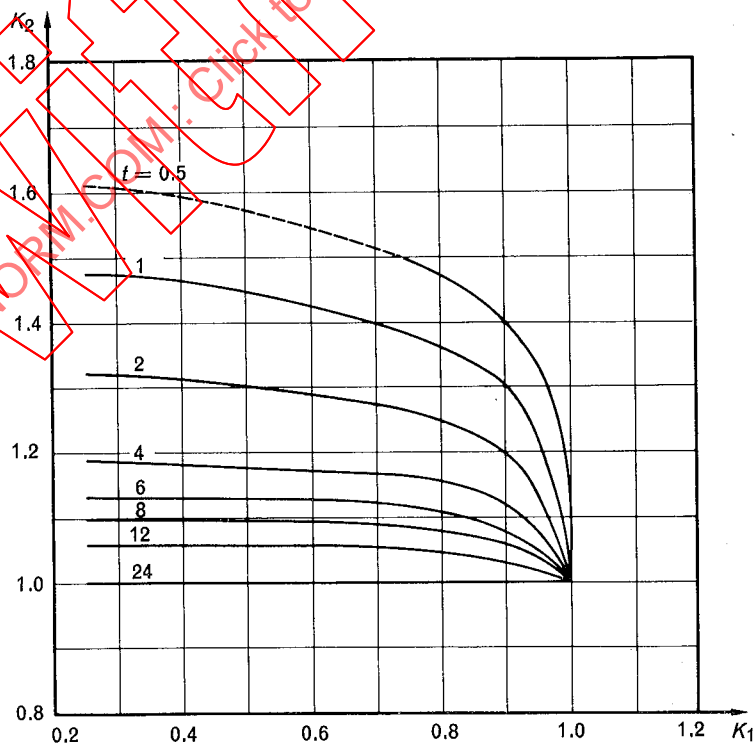


TABLEAU IX

Transformateurs OFAF et OFWF : $\theta_a = 30^\circ\text{C}$
Valeurs de K_2 pour des valeurs données de K_1 et t

Note. — En service cyclique normal, la valeur de K_2 ne doit pas être supérieure à 1,5. Les valeurs de K_2 supérieures à 1,5, imprimées en italique, s'appliquent aux services de secours. (Voir article 3.)

TABLE IX

OFAF and OFWF transformers : $\theta_a = 30^\circ\text{C}$
Values of K_2 for given values of K_1 and t

Note. — In normal cyclic duty the value of K_2 should not be greater than 1.5. The values of K_2 greater than 1.5, printed in italics, apply to emergency duties. (See Clause 3.)

	$K_1 = 0.25$	$K_1 = 0.50$	$K_1 = 0.70$	$K_1 = 0.80$	$K_1 = 0.90$	$K_1 = 1.00$
$t = 0.5$	1.53	1.49	1.42	1.36	1.20	—
$t = 1$	1.40	1.36	1.31	1.26	1.11	—
$t = 2$	1.25	1.23	1.19	1.16	1.04	—
$t = 4$	1.13	1.11	1.09	1.07	0.99	—
$t = 6$	1.07	1.06	1.04	1.03	0.96	—
$t = 8$	1.03	1.02	1.01	1.00	0.95	—
$t = 12$	0.99	0.98	0.98	0.97	0.94	—
$t = 24$	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	—

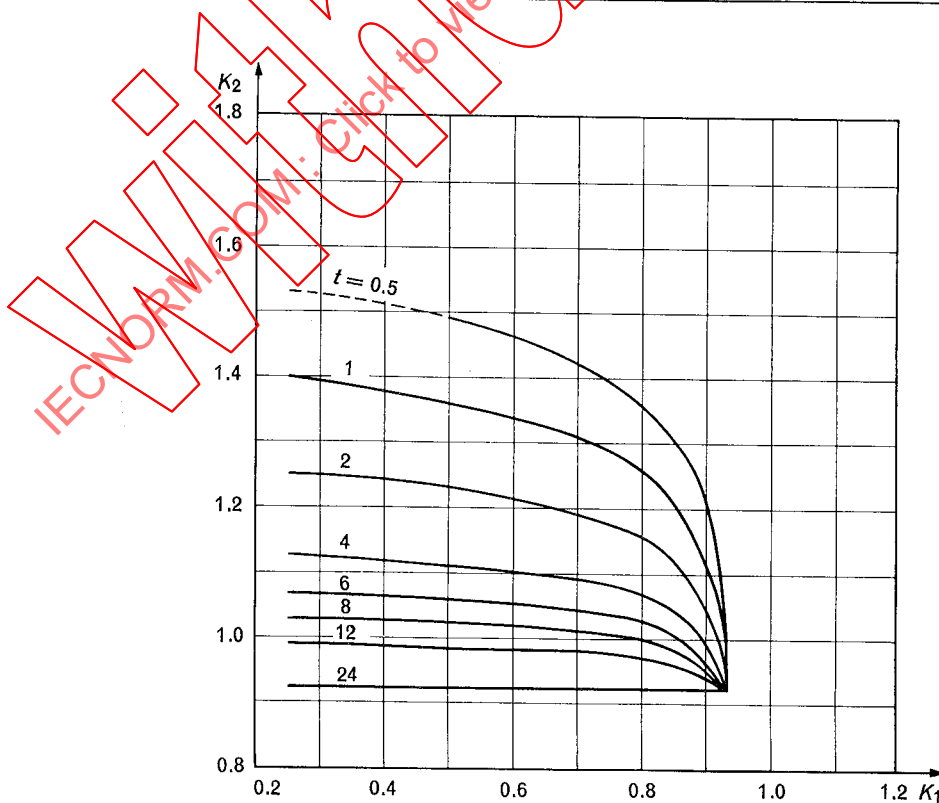


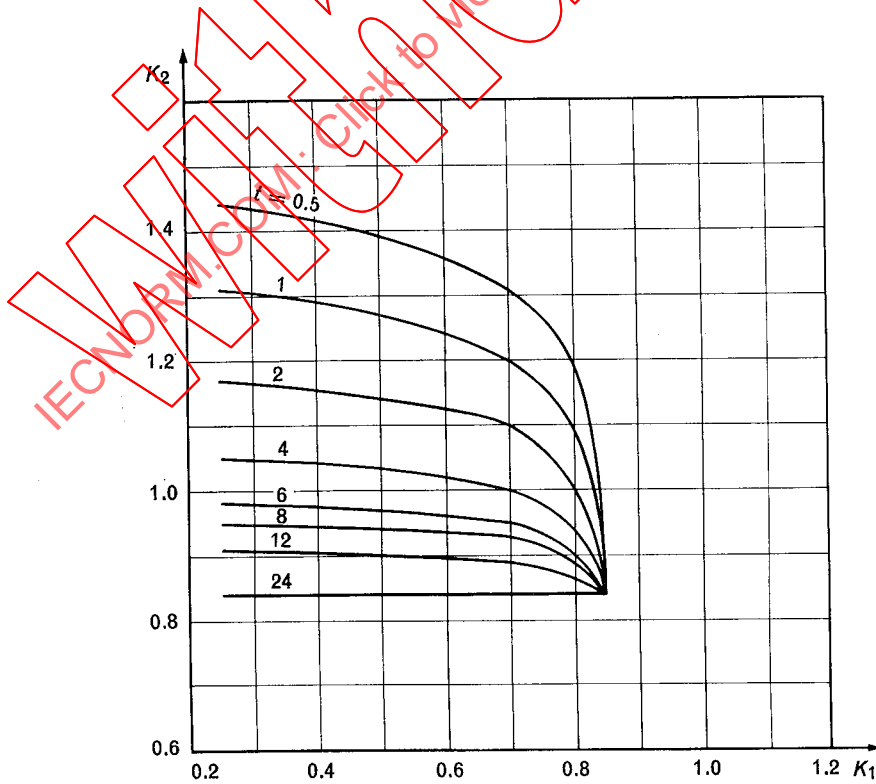
TABLEAU X

Transformateurs OFAF et OFWF : $\theta_a = 40^\circ\text{C}$
Valeurs de K_2 pour des valeurs données de K_1 et t

TABLE X

OFAF and OFWF transformers : $\theta_a = 40^\circ\text{C}$
Values of K_2 for given values of K_1 and t

	$K_1 = 0.25$	$K_1 = 0.50$	$K_1 = 0.70$	$K_1 = 0.80$	$K_1 = 0.90$	$K_1 = 1.00$
$t = 0.5$	1.44	1.39	1.31	1.19	—	—
$t = 1$	1.31	1.27	1.20	1.09	—	—
$t = 2$	1.17	1.14	1.10	1.00	—	—
$t = 4$	1.05	1.03	1.00	0.94	—	—
$t = 6$	0.98	0.97	0.95	0.90	—	—
$t = 8$	0.95	0.94	0.93	0.89	—	—
$t = 12$	0.91	0.90	0.89	0.86	—	—
$t = 24$	0.84	0.84	0.84	0.84	—	—



ANNEXE A

MÉTHODE SUIVIE POUR LA PRÉPARATION DU GUIDE

Symboles utilisés

Les symboles utilisés dans cette annexe sont précisés dans la liste suivante :

- θ = température, en degrés Celsius
 $\Delta\theta$ = échauffement, en degrés Celsius
 a = indice se rapportant à « l'ambiante » (milieu réfrigérant)
 b = indice se rapportant à « l'huile au sommet de la cuve »
 c = indice se rapportant au « point chaud de l'enroulement »
 d = rapport $\frac{\text{pertes dues à la charge à puissance nominale}}{\text{pertes à vide}}$
 $\Delta\theta_{wo}$ = différence entre l'échauffement moyen de l'enroulement et l'échauffement moyen de l'huile
 t = durée, en heures, d'une charge donnée
 K = charge exprimée en fraction de la puissance nominale : $\frac{S}{S_r}$
 K_1 = charge initiale exprimée en fraction de la puissance nominale : $\frac{S_1}{S_r}$
 K_2 = charge admissible exprimée en fraction de la puissance nominale : $\frac{S_2}{S_r}$
 x = exposant de $\frac{\text{pertes totales}}{\text{pertes nominales}}$ utilisé dans les calculs d'échauffement d'huile
 y = exposant de $\frac{(\text{échauffement point chaud} - \text{échauffement huile au sommet}) \text{ à la puissance } S}{(\text{échauffement point chaud} - \text{échauffement huile au sommet}) \text{ à la puissance nominale } S_r}$ utilisé dans les calculs d'échauffement du point chaud
 p = exposant (constant) utilisé uniquement dans la relation de Montsinger
 r = indice se rapportant à la valeur nominale
 S = puissance (toute valeur) ; S_r = puissance nominale
 T = température absolue, utilisée uniquement dans la Loi d'Arrhenius
 V = vitesse relative de consommation de vie
 τ = constante de temps thermique huile - air à charge nominale, en heures

Exemples

Températures, en degrés Celsius

- θ_a = température ambiante (milieu réfrigérant)
 θ_b = température de l'huile au sommet = $\theta_a + \Delta\theta_b$
 θ_c = température du point chaud de l'enroulement = $\theta_a + \Delta\theta_c$

Echauffements, en degrés Celsius

- $\Delta\theta_b$ = échauffement de l'huile (sommet de la cuve)
 $\Delta\theta_{br}$ = échauffement de l'huile (sommet de la cuve) à la puissance nominale
 $\Delta\theta_c$ = échauffement du point chaud de l'enroulement
 $\Delta\theta_{cr}$ = échauffement du point chaud de l'enroulement à la puissance nominale

APPENDIX A

METHOD FOLLOWED IN PREPARING THE GUIDE

Symbols used

The following is a list of the symbols used in this Appendix :

- θ = temperature, in Celsius degrees
 $\Delta\theta$ = temperature rise, in Celsius degrees
 a = subscript representing "ambient" (cooling medium)
 b = subscript representing "top oil"
 c = subscript representing "hot spot of winding"
 d = ratio $\frac{\text{load loss at rated power}}{\text{no-load loss}}$
 $\Delta\theta_{wo}$ = difference between average winding temperature rise and average oil temperature rise
 t = time duration, in hours, of any load power
 K = load power as a fraction of rated power = $\frac{S}{S_r}$
 K_1 = initial load power as a fraction of rated power = $\frac{S_1}{S_r}$
 K_2 = permissible load power as a fraction of rated power = $\frac{S_2}{S_r}$
 x = exponent of $\frac{\text{total losses}}{\text{rated losses}}$ used in oil temperature rise calculations
 y = exponent of $\frac{(\text{hot-spot temperature rise} - \text{top oil temperature rise}) \text{ at power } S}{(\text{hot-spot temperature rise} - \text{top oil temperature rise}) \text{ at rated power } S_r}$ used in hot-spot temperature rise calculations
 p = exponent (constant) used only in Montsinger relation
 r = subscript representing rated value
 S = load power (any value); S_r = rated power
 T = absolute temperature, used only in the Arrhenius Law
 V = relative rate of using life
 τ = oil - air thermal time constant at rated load, in hours

Examples

Temperatures, in Celsius degrees

- θ_a = ambient (cooling medium) temperature
 θ_b = top oil temperature = $\theta_a + \Delta\theta_b$
 θ_c = winding hot-spot temperature = $\theta_a + \Delta\theta_c$

Temperature rises, in Celsius degrees

- $\Delta\theta_b$ = oil temperature rise (top)
 $\Delta\theta_{br}$ = oil temperature rise (top) at rated power
 $\Delta\theta_c$ = winding temperature rise (hot spot)
 $\Delta\theta_{cr}$ = winding temperature rise (hot spot) at rated power

1. Détermination de l'échauffement

1.1 Diagramme thermique supposé

On fait l'hypothèse d'un diagramme thermique simple, tel que celui représenté sur la figure 3, étant entendu qu'un tel diagramme n'est que la simplification d'une distribution plus complexe.

L'échauffement de l'huile au sommet de la cuve, tel qu'il est mesuré au cours d'un essai d'échauffement, diffère de celui de l'huile sortant de l'enroulement. En effet, l'huile au sommet est un mélange de courants d'huile partiels qui ont circulé dans les divers canaux de refroidissement. Toutefois, ces différences sont considérées comme assez faibles pour que la méthode reste valable.

Entre le bas du réfrigérant et le bas de l'enroulement, les différences sont encore plus faibles.

Les hypothèses simplificatrices suivantes ont été utilisées (voir figure 3) :

- La température de l'huile augmente linéairement avec la hauteur de l'enroulement.
- L'échauffement moyen de l'huile est le même pour tous les enroulements d'une même colonne.
- La différence de température entre l'huile au sommet de l'enroulement (supposée égale à celle de l'huile au sommet de la cuve) et l'huile à la base de l'enroulement (supposée égale à celle existant à la base du réfrigérant) est la même pour tous les enroulements.
- L'échauffement moyen du cuivre à tout niveau de l'enroulement dans le sens ascendant croît linéairement, parallèlement à l'échauffement de l'huile, une différence constante $\Delta\theta_{wo}$ existant entre les deux lignes droites. ($\Delta\theta_{wo}$ est la différence entre l'échauffement moyen par résistance et l'échauffement moyen de l'huile.)
- L'échauffement moyen du cuivre au sommet de l'enroulement est égal à l'échauffement de l'huile au sommet de la cuve majoré de $\Delta\theta_{wo}$.
- L'échauffement du point chaud est supérieur à l'échauffement moyen du cuivre au sommet. Comme différence entre ces deux échauffements, on a adopté une valeur de $0,1 \Delta\theta_{wo}$ pour une circulation naturelle d'huile. (Le cas de la circulation forcée d'huile sera examiné à l'annexe A, paragraphe 1.2.2.) Ainsi l'échauffement du point chaud est égal à l'échauffement de l'huile au sommet de la cuve augmenté de $1,1 \Delta\theta_{wo}$.

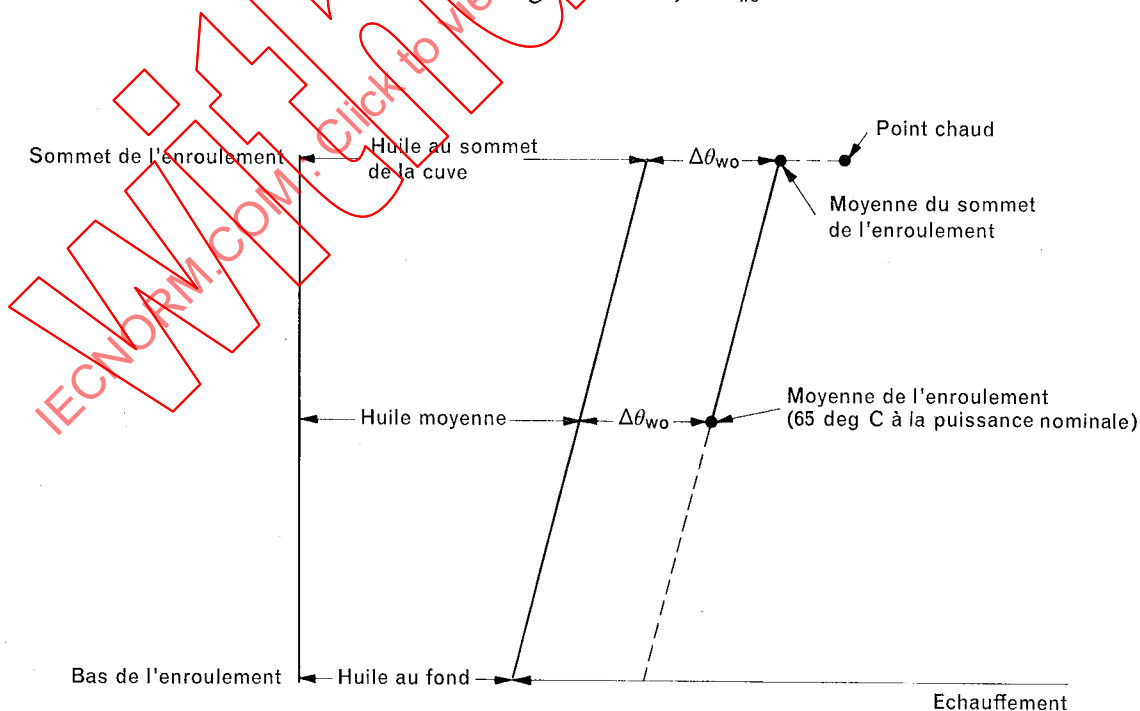


FIG. 3. — Diagramme thermique.

1. Determination of temperature rise

1.1 Assumed thermal diagram

A simple thermal diagram is assumed, as shown in Figure 3, it being understood that such a diagram is the simplification of a more complex distribution.

The top oil temperature rise, as measured during a temperature-rise test, differs from that of the oil leaving the winding. In fact, the oil at the top is a mixture of partial oil flows which have circulated along the various windings. But these differences are not considered sufficiently significant to invalidate the method.

Between the bottom of the cooler and the bottom of the winding, the difference is even less.

The following simplified assumptions have been made (see Figure 3):

- The oil temperature increases linearly up the winding.
- The average oil temperature rise is the same for all the windings of the same column.
- The difference of temperature between the oil at the top of the winding (assumed equal to that of the top oil) and the oil at the bottom of the winding (assumed equal to that at the bottom of the cooler) is the same for all the windings.
- The average temperature rise of the copper at any position up the winding increases linearly parallel to the oil temperature rise with a constant difference $\Delta\theta_{wo}$ between the two straight lines. ($\Delta\theta_{wo}$ being the difference between the average temperature rise by resistance and the average oil temperature rise.)
- The average temperature rise of the top coil is the top oil temperature rise plus $\Delta\theta_{wo}$.
- The hot-spot temperature rise is higher than the average temperature rise of the top coil. To take account of the difference between these two temperature rises, a value of $0.1 \Delta\theta_{wo}$ is assumed for natural oil circulation. (Forced oil circulation is considered in Appendix A, Sub-clause 1.2.2.) Thus, the temperature rise of the hot spot is equal to the top oil temperature rise plus $1.1 \Delta\theta_{wo}$.

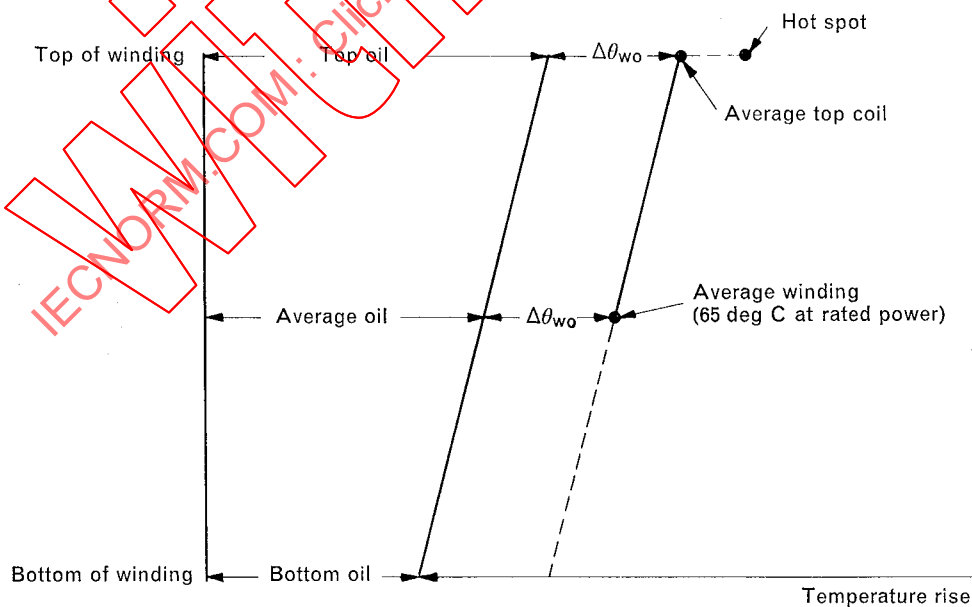


FIG. 3. — Thermal diagram.

1.2 Conditions à la puissance nominale

1.2.1 Circulation naturelle de l'huile

Echauffement moyen de l'enroulement (mesuré par résistance)	= 65 deg C
Echauffement de l'huile au sommet	= 55 deg C
Echauffement moyen de l'huile	= 44 deg C
$\Delta\theta_{\text{wor}}$	= 21 deg C
Echauffement du point chaud = échauffement de l'huile au sommet plus $1,1 \Delta\theta_{\text{wor}}$, soit : $55 + 23$	= 78 deg C

Note. — A des échauffements de l'huile plus élevés ou plus faibles correspondent des valeurs de $\Delta\theta_{\text{wor}}$ plus faibles ou plus élevées pour satisfaire aux 65 deg C d'échauffement moyen d'enroulement. Il en résulte une compensation telle que des différences appréciables dans les valeurs supposées n'influent que légèrement sur la charge admissible fournie dans les tableaux. On ne demande pas une précision supérieure du fait qu'il y a, en pratique, une inexactitude inévitable dans l'évaluation de la température ambiante, dans le caractère variable de la charge (courant et tension), etc.

1.2.2 Circulation forcée de l'huile

La différence entre les échauffements de l'huile à l'entrée et à la sortie sera, en général, inférieure à celle que l'on constate dans le cas d'une circulation naturelle de l'huile. Avec un échauffement de 65 deg C mesuré par résistance, l'échauffement du point chaud ne dépassera probablement pas 75 deg C. Il est considéré comme souhaitable, toutefois, d'admettre la même marge de 13 deg C au-dessus de l'échauffement moyen de l'enroulement de 65 deg C pour obtenir l'échauffement du point chaud à puissance nominale.

En général, on utilise également des densités de courant plus élevées qu'en circulation naturelle et il est en général plus économique d'avoir un échauffement moyen de l'huile inférieur et une valeur de $\Delta\theta_{\text{wor}}$ supérieure. En conséquence, on a supposé, pour le guide, un échauffement de l'huile au sommet de 40 deg C et un échauffement du point chaud de 78 deg C à la puissance nominale, comme étant la condition la plus sévère.

Cet échauffement de point chaud de 78 deg C se décompose donc en :

- 40 deg C d'échauffement d'huile en haut de cuve ;
- 38 deg C d'écart entre point chaud et huile en haut de cuve.

1.3 Valeurs en régime établi de température

1.3.1 Echauffement de l'huile au sommet de la cuve $\Delta\theta_b$ pour une charge quelconque S

Cet échauffement est égal à l'échauffement de l'huile au sommet de la cuve à la puissance nominale multiplié par le rapport des pertes totales avec l'exposant x :

$$\Delta\theta_b = \Delta\theta_{\text{br}} \left(\frac{1 + d K^2}{1 + d} \right)^x$$

Dans ce guide, on suppose que :

d est égal à 5 ;

x est égal à 0,9 pour ONAN et ONAF *

1,0 pour OFAF et OFWF ;

$\Delta\theta_{\text{br}}$ est égal à 55 deg C pour ON et à 40 deg C pour OF, ainsi qu'il est indiqué à l'annexe A, paragraphe 1.2.

La valeur de d a relativement peu d'importance pour de fortes charges, car ses variations éventuelles conduisent alors à de faibles variations des échauffements d'huile. De plus, ce phénomène est partiellement compensé par le fait qu'à faible charge les variations d'échauffement de l'huile sont de sens inverse.

* On a pris cette valeur de 0,9 au lieu des valeurs de 0,8 (pour ONAN) et 1,0 (pour ONAF) spécifiées au paragraphe 41.7.1 de la Publication 76 (1967) de la CEI, parce qu'elle permet d'utiliser une seule série de tableaux pour les deux modes de refroidissement, l'écart n'étant que de l'ordre de $\pm 2\%$.

1.2 Conditions for rated power

1.2.1 Natural oil circulation

Average winding temperature rise (measured by resistance)	= 65 deg C
Top oil temperature rise	= 55 deg C
Average oil temperature rise	= 44 deg C
$\Delta\theta_{\text{wor}}$	= 21 deg C

Hot-spot temperature rise = top oil temperature rise plus 1.1 $\Delta\theta_{\text{wor}}$ = 55 + 23 = 78 deg C

Note. — Higher or lower oil temperature rises are offset by the correspondingly lower or higher values for $\Delta\theta_{\text{wor}}$ necessary to keep the average temperature rise of the windings within 65 deg C. Appreciable differences in the assumed values only slightly influence the permissible loading given in the tables. Greater accuracy is not required, because there is in practice inevitable inaccuracy in the estimation of the ambient temperature and from the variability of the load (current and voltage), etc.

1.2.2 Forced oil circulation

The difference between the inlet and outlet oil temperature rises will, in general, be less than with natural oil circulation. With 65 deg C temperature rise measured by resistance, the hot-spot temperature rise will probably not exceed 75 deg C. It is, however, considered desirable to allow the same margin of 13 deg C above the average winding temperature rise of 65 deg C, to obtain the hot-spot temperature rise at rated power.

Also, in general, higher working current densities are used than with natural oil circulation and it is generally more economic to have a lower average oil temperature rise and a higher value for $\Delta\theta_{\text{wor}}$. Therefore, for the guide, a top oil temperature rise of 40 deg C and a hot-spot temperature rise of 78 deg C at rated power have been assumed, as the most severe condition.

The hot-spot temperature rise of 78 deg C is made up as follows :

- 40 deg C top oil temperature rise ;
- 38 deg C temperature difference between the hot-spot and the top oil.

1.3 Values for any thermally stabilized condition

1.3.1 Top oil temperature rise $\Delta\theta_b$ at any load power S

This temperature rise is equal to the top oil temperature rise at rated power multiplied by the ratio of total losses with exponent x :

$$\Delta\theta_b = \Delta\theta_{\text{br}} \left(\frac{1 + d K^2}{1 + d} \right)^x$$

For this guide :

d is assumed equal to 5 ;

x is assumed equal to 0.9 for ONAN and ONAF *
1.0 for OFAF and OFWF ;

$\Delta\theta_{\text{br}}$ is assumed equal to 55 deg C for ON, and 40 deg C for OF, as given in Appendix A, Sub-clause 1.2.

The value of d is relatively unimportant at high loading, giving only marginally higher or lower oil temperature rises in practice. Moreover this is compensated for to some extent by the correspondingly lower or higher oil temperature rises at low loads.

* This value of 0.9 has been taken instead of the values of 0.8 (for ONAN) and 1.0 (for ONAF) specified in Sub-clause 41.7.1 of IEC Publication 76 (1967), because it allows a single set of tables to be used for both kinds of cooling, with errors only of the order of $\pm 2\%$.

1.3.2 *Echauffement du point chaud $\Delta\theta_c$ pour une charge S quelconque*

Il est égal à :

Echauffement de l'huile au sommet de la cuve $\Delta\theta_b$ (ainsi qu'il est calculé à l'annexe A, paragraphe 1.3.1) augmenté de :

$$(\Delta\theta_{er} - \Delta\theta_{br}) K^{2y}$$

Dans ce guide, on suppose que :

$\Delta\theta_{er}$ est égal à 78 deg C, comme indiqué à l'annexe A, paragraphe 1.2 ;

$\Delta\theta_{br}$ est égal à 55 deg C pour ON et à 40 deg C pour OF, comme indiqué à l'annexe A, paragraphe 1.2 ;

y est égal à 0,8 pour ONAN et ONAF

à 0,9 pour OFAF et OFWF.

1.4 *Valeurs en régime transitoire*

1.4.1 L'échauffement $\Delta\theta_{bt}$ de l'huile au sommet de la cuve après un temps t d'application d'une charge donnée est très proche de la valeur fournie par la relation de forme exponentielle suivante :

$$\Delta\theta_{bt} = \Delta\theta_{bo} + (\Delta\theta_b - \Delta\theta_{bo}) (1 - e^{-t/\tau})$$

où :

$\Delta\theta_{bo}$ est l'échauffement initial de l'huile

$\Delta\theta_b$ serait l'échauffement final stabilisé de l'huile correspondant à la charge considérée tel que défini à l'annexe A, paragraphe 1.3.1

Pour les tableaux du guide, on suppose que τ est égal à 3 h pour les refroidissements ONAN et ONAF et à 2 h pour les refroidissements OFAF et OFWF.

1.4.2 L'échauffement du point chaud à tout instant du régime transitoire est calculé de façon approchée en supposant que l'écart de température entre le point chaud et l'huile au sommet de la cuve s'établit immédiatement.

L'échauffement du point chaud à tout instant est ainsi égal à celui de l'huile au sommet de la cuve, tel qu'il est calculé à l'annexe A, paragraphe 1.4.1, augmenté de :

$$(\Delta\theta_{er} - \Delta\theta_{br}) K^{2y}$$

2. *Vitesse relative de dégradation thermique de l'isolant*

2.1 *Loi de dégradation*

La vie de l'isolant, soumis à une dégradation résultant de la température et du temps, est donnée par la Loi d'Arrhenius :

$$Vie = e^{[A+(B/T)]}$$

où :

A et B sont des constantes (déterminées expérimentalement pour un matériau isolant donné quelconque)

T est la température absolue

Entre 80 °C et 140 °C, cette loi peut s'exprimer de façon plus pratique conformément à la relation de Montsinger :

$$Vie = e^{-p\theta}$$

où :

p est une constante

θ est la température, en degrés Celsius.

Différents chercheurs n'ont pas toujours été d'accord sur la durée de vie à une température donnée quelconque. Cependant, on constate un accord satisfaisant sur le fait que la vitesse de consommation de vie des transformateurs entre 80 °C et 140 °C est doublée pour toute augmentation de température d'approximativement 6 deg C ; cette valeur est retenue comme valeur de base dans ce guide.

1.3.2 Hot-spot temperature rise $\Delta\theta_c$ at any load power S

This is equal to :

Top oil temperature rise $\Delta\theta_b$ (as calculated in Appendix A, Sub-clause 1.3.1) plus :

$$(\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br}) K^{2y}$$

For this guide :

$\Delta\theta_{cr}$ is assumed equal to 78 deg C, as given in Appendix A, Sub-clause 1.2 ;

$\Delta\theta_{br}$ is assumed equal to 55 deg C for ON, and 40 deg C for OF, as given in Appendix A, Sub-clause 1.2,

y is assumed equal to 0.8 for ONAN and ONAF

0.9 for OFAF and OFWF.

1.4 Values for any transient condition

1.4.1 The top oil temperature rise $\Delta\theta_{bt}$ at any time t after the application of a given load is very close to the exponential rise given by :

$$\Delta\theta_{bt} = \Delta\theta_{bo} + (\Delta\theta_b - \Delta\theta_{bo}) (1 - e^{-t/\tau})$$

where :

$\Delta\theta_{bo}$ is the initial oil temperature rise

$\Delta\theta_b$ would be the final stabilized oil temperature rise corresponding to the load considered, as calculated in Appendix A, Sub-clause 1.3.1

For the tables of the guide, τ is assumed equal to 3 h for ONAN and ONAF cooling and 2 h for OFAF and OFWF cooling.

1.4.2 The hot-spot temperature rise at any time before stabilized conditions are reached is approximated by assuming that the hot-spot temperature rise above the top oil temperature rise is established immediately.

The temperature rise of the hot spot at any time is thus equal to the top oil temperature rise (as calculated in Appendix A, Sub-clause 1.4.1) plus :

$$(\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br}) K^{2y}$$

2. Relative rate of thermal deterioration of the insulation

2.1 Law of deterioration

The life of insulation, as affected by deterioration due to temperature and time, is given by the Arrhenius Law as :

$$\text{Life} = e^{[A+(B/T)]}$$

where :

A and B are constants (derived by experiment for any given insulating material)

T is the absolute temperature.

In the range 80 °C to 140 °C this law can be expressed in the more convenient Montsinger relation as :

$$\text{Life} = e^{-p\theta}$$

where :

p is a constant

θ is the temperature, in Celsius degrees.

Various investigators have not always agreed on the length of life at any given temperature. They do agree reasonably well, however, that over the range 80 °C to 140 °C the rate of using life in transformers is doubled for every temperature increase of approximately 6 deg C, and this value is used as the basis value for the guide.

2.2 Vitesse relative de consommation de vie V

On peut maintenant utiliser la relation de Montsinger pour obtenir la vitesse relative de consommation de vie à une température θ_e , comparée à la vitesse de consommation de vie à la température θ_{er} :

$$V = \frac{\text{vitesse de consommation de vie à } \theta_e}{\text{vitesse de consommation de vie à } \theta_{er}} = 2^{(\theta_e - \theta_{er})/6} = e^{0,693 (\theta_e - \theta_{er})/6} \quad (1)$$

Pour un transformateur en conformité avec la Publication 76 (1967) de la CEI, la valeur de θ_{er} est prise égale à 98 °C.

Cette température correspond au fonctionnement à une température ambiante de 20 °C, à la puissance nominale, d'un transformateur ayant un échauffement du point chaud de 78 deg C, c'est-à-dire 13 deg C au-dessus de l'échauffement moyen de 65 deg C (mesuré par résistance). De telles conditions correspondent à un vieillissement normal de l'isolant.

A l'aide de la formule 1, et en prenant $\theta_{er} = 98$ °C, on déduit la formule suivante, en fonction des logarithmes de base 10 :

$$V = \text{vitesse relative de consommation de vie} = 10^{(\theta_e - 98)/19,93} \quad (2)$$

Cette fonction est représentée à la figure 4, page 42, et fait également l'objet du tableau suivant :

θ_e	Vitesse relative de consommation de vie
80	0,125
86	0,25
92	0,5
98	1,0
104	2,0
110	4,0
116	8,0
122	16,0
128	32,0
134	64,0
140	128,0

Exemple : 10 h à 104 °C et 14 h à 86 °C consommeraient (10×2) plus $(14 \times 0,25) = 23,5$ h de vie pour un fonctionnement de 24 h.

Il est à noter qu'au-dessous de 80 °C, la consommation de vie peut être considérée comme négligeable.

2.3 Perte de vie équivalente sur une période de 24 h

2.3.1 Fonctionnement à température constante

Considérons un diagramme de températures rectangulaire sur une période de 24 h, correspondant à t heures à une température constante θ , le complément à 24 h correspondant à une température suffisamment faible pour que la perte de vie soit négligeable ; dans ces conditions, les heures de vie consommées sont données par tV .

2.3.2 Fonctionnement à température variable

Dans le cas d'une température variable $\theta_e =$ fonction de t , une intégration faisant appel aux relations précédentes est nécessaire. Les heures de vie consommées sont alors données par $\int_0^t V dt$.

Un exemple, qui accompagne le tableau précédent, montre la façon de faire cette intégration pour quelques valeurs de θ_e et t .

2.3.3 Nombre t d'heures de fonctionnement à la température θ_e qui donne la même consommation de vie que 24 h à 98 °C

La formule 2 donne :

$$\theta_e = 98 + 19,93 \log_{10} V \quad (3)$$

2.2 Relative rate of using life V

The Montsinger relation can now be used to obtain the relative rate of using life at any temperature θ_e , compared with the normal rate of using life at temperature θ_{er} :

$$V = \frac{\text{rate of using life at } \theta_e}{\text{rate of using life at } \theta_{er}} = 2^{(\theta_e - \theta_{er})/6} = e^{0.693(\theta_e - \theta_{er})/6} \quad (1)$$

The value of θ_{er} for a transformer in accordance with IEC Publication 76 (1967) is taken to be 98 °C.

This temperature corresponds to operation in an ambient temperature of 20 °C at the rated power of a transformer having a temperature rise at the hot spot of 78 deg C, that is 13 deg C above the average temperature rise (measured by resistance) of 65 deg C. Such temperature conditions correspond to normal ageing of the insulation.

Using formula 1, and $\theta_{er} = 98$ °C, the following formula in terms of $\log_{10}$ is derived:

$$V = \text{relative rate of using life} = 10^{(\theta_e - 98)/19.98} \quad (2)$$

This is represented in Figure 4, page 42, and by the following table:

θ_e	Relative rate of using life
80	0.125
86	0.25
92	0.5
98	1.0
104	2.0
110	4.0
116	8.0
122	16.0
128	32.0
134	64.0
140	128.0

Example: 10 h at 104 °C and 14 h at 86 °C would use (10×2) plus $(14 \times 0.25) = 23.5$ h life in 24 h operation.

It may be noted that below 80 °C the use of life can be considered negligible.

2.3 Equivalent life loss diagrams in a 24-hour period

2.3.1 Operation at constant temperature

Consider a rectangular diagram of temperatures in a 24-hour period corresponding to t hours at a constant temperature θ , with the complement to 24 h corresponding to a sufficiently low temperature for negligible life loss; then the hours of life used are given by tV .

2.3.2 Operation at variable temperature

In the case of a varying temperature $\theta_e = \text{function of } t$, an integration is necessary with the preceding relations. The hours of life used are then given by $\int_0^t V dt$.

An example below the preceding table shows how this can be summated for a few values of θ_e and t .

2.3.3 Permissible duration t hours of operation at θ_e to use one day's life at 98 °C

From formula 2:

$$\theta_e = 98 + 19.93 \log_{10} V \quad (3)$$

D'ailleurs, la consommation de vie :

$$tV = t \times 10^{(\theta_c - 98)/19,93} \quad (4)$$

par conséquent, pour $tV = 24$:

$$t = \frac{24}{V} = 24 \times 10^{(98 - \theta_c)/19,93} \quad (5)$$

La formule 5 donne le nombre d'heures de fonctionnement par jour pour toute valeur de la température θ_c qui donne la même consommation de vie que 24 h à 98 °C. Le tableau suivant donne la valeur de t pour diverses valeurs de θ_c .

Heures par jour	θ_c
24	98
16	101,5
12	104
8	107,5
6	110
4	113,5
3	116
2	119,5
1,5	122
1,0	125,5
0,75	128
0,5	131,5

2.3.4 Fonctionnement avec une perte de vie supérieure à la normale

Il peut arriver qu'il soit nécessaire de fonctionner, pendant des temps limités, à des charges supérieures à la charge journalière cyclique normale (perte d'un élément par exemple dans un groupe) au prix d'une consommation de vie plus rapide. Si l'on suppose par exemple une perte de vie par jour 2, 5, 10 ... fois supérieure à la valeur normale, les températures correspondantes du point chaud seront supérieures de 6 deg C, 14 deg C, 20 deg C aux valeurs données dans le tableau précédent, mais θ_c ne doit pas dépasser 140 °C.

Ce type de fonctionnement fait l'objet de l'annexe B.

Note. — En règle générale, le transformateur sera chargé de telle façon que le fonctionnement journalier avec une consommation de vie supérieure à la normale ne s'étende pas sur des périodes de temps constituant une proportion appréciable de la durée de vie normale escomptée. Dans ces conditions, il ne sera pas nécessaire de conserver le détail des charges successives appliquées à l'appareil.

3. Température ambiante à considérer dans les tableaux du guide de charge

Détermination de la valeur effective de θ_a

Si θ_a varie de façon appréciable pendant le temps de charge élevée t , il est nécessaire d'utiliser une valeur pondérée de θ_a du fait que la température ambiante pondérée sera supérieure à la moyenne arithmétique.

Considérons un fonctionnement à charge constante, avec une température ambiante variable θ_a pendant un temps donné t . La température ambiante pondérée θ'_a au cours de cette période est donnée par la formule :

$$2^{\theta'_a/6} = \frac{1}{t} \int_0^t 2^{\theta_a/6} dt$$

si le temps t est divisé en N intervalles de temps égaux, la formule précédente devient :

$$2^{\theta'_a/6} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 2^{\theta_{a_i}/6}$$

Also, hours of life used :

$$tV = t \times 10^{(\theta_e - 98)/19.93} \quad (4)$$

therefore for tV to equal 24 :

$$t = \frac{24}{V} = 24 \times 10^{(98 - \theta_e)/19.93} \quad (5)$$

Formula 5 gives the number of hours per day of operation at any given value of θ_e that will use one day's life per day at 98 °C. The following table gives values of t for various values of θ_e .

Hours per day	θ_e
24	98
16	101.5
12	104
8	107.5
6	110
4	113.5
3	116
2	119.5
1.5	122
1.0	125.5
0.75	128
0.5	131.5

2.3.4 Operation with a loss of life higher than normal

It can happen that it is required, for limited periods of time, to operate at higher temperatures than those associated with normal daily cyclic loading (loss of a unit in a group, etc.) and accept the more rapid use of life for these periods. If a daily loss of life 2, 5, 10 ... times the normal value is assumed, the corresponding hot-spot temperatures will be 6 deg C, 14 deg C, 20 deg C higher than given in the preceding table, but θ_e must not exceed 140 °C.

This type of operation is considered in Appendix B.

Note. — As a general rule, the transformer will be loaded in such a way that daily operation with use of life higher than normal will not extend over periods of time which are an appreciable proportion of normal expected life duration. In these conditions, it will not be necessary to keep a record of the successive loads on the unit.

3. Ambient temperature to be considered in the tables of the loading guide Determination of the effective value of θ_a

If θ_a varies appreciably during the high loading time t , then a weighted value of θ_a should be used, because the weighted ambient temperature will be higher than the arithmetic average.

Consider operation at constant load with a varying ambient temperature θ_a for a given period t . The weighted ambient temperature θ'_a during that period is given by the formula :

$$2^{\theta'_a/6} = \frac{1}{t} \int_0^t 2^{\theta_a/6} dt$$

if the time t is divided into N equal intervals, the preceding formula becomes :

$$2^{\theta'_a/6} = \frac{1}{N} \sum_{1}^N 2^{\theta_a/6}$$

On en tire la température ambiante pondérée :

$$\theta'_a = 6 \log_2 \left[\frac{1}{N} \sum_1^N 2^{\theta_a/6} \right]$$

qui est pratiquement égale à :

$$20 \log_{10} \left[\frac{1}{N} \sum_1^N 10^{\theta_a/20} \right]$$

Dans le cas d'un transformateur fonctionnant à charge constante toute l'année, on peut fixer une température ambiante pondérée une fois pour toutes dans un climat donné. Celle-ci doit être telle que la dégradation plus rapide en été soit exactement compensée par la dégradation plus lente en hiver. Dans un climat tempéré, on constate que la moyenne pondérée annuelle est généralement supérieure de 5 deg C à la moyenne arithmétique.

Exemple : En utilisant des valeurs moyennes mensuelles (plus précisément des valeurs pondérées mensuelles) pour θ_a :

$$\text{Température ambiante annuelle pondérée} = 20 \log_{10} \left[\frac{1}{12} \sum_1^{12} 10^{\theta_a/20} \right]$$

$$\theta_a = \begin{cases} 30 \text{ }^\circ\text{C pour 2 mois} \\ 20 \text{ }^\circ\text{C pour 4 mois} \\ 10 \text{ }^\circ\text{C pour 4 mois} \\ 0 \text{ }^\circ\text{C pour 2 mois} \end{cases} \left\{ \begin{array}{l} \text{moyenne arithmétique } 15 \text{ }^\circ\text{C} \\ \text{moyenne pondérée } 19,8 \text{ }^\circ\text{C} \end{array} \right.$$

From this, the weighted ambient temperature :

$$\theta'_a = 6 \log_2 \left[\frac{1}{N} \sum_1^N 2^{\theta_a/6} \right]$$

which is practically equal to :

$$20 \log_{10} \left[\frac{1}{N} \sum_1^N 10^{\theta_a/20} \right]$$

For a transformer operating on constant load throughout the year, a weighted ambient temperature can be fixed once and for all in a given climate. This must be such that the faster summer deterioration is exactly balanced by the slower winter deterioration. In a temperate climate, it is found that the annual weighted mean is generally 5 deg C higher than the arithmetic mean.

Example : Using monthly average values (more accurately using monthly weighted values) for θ_a :

$$\text{Annual weighted ambient temperature} = 20 \log_{10} \left[\frac{1}{12} \sum_1^{12} 10^{\theta_a/20} \right]$$

$$\left. \begin{array}{l} \theta_a = 30^\circ \text{C for 2 months} \\ 20^\circ \text{C for 4 months} \\ 10^\circ \text{C for 4 months} \\ 0^\circ \text{C for 2 months} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{average } 15^\circ \text{C} \\ \text{weighted average } 19.8^\circ \text{C} \end{array}$$

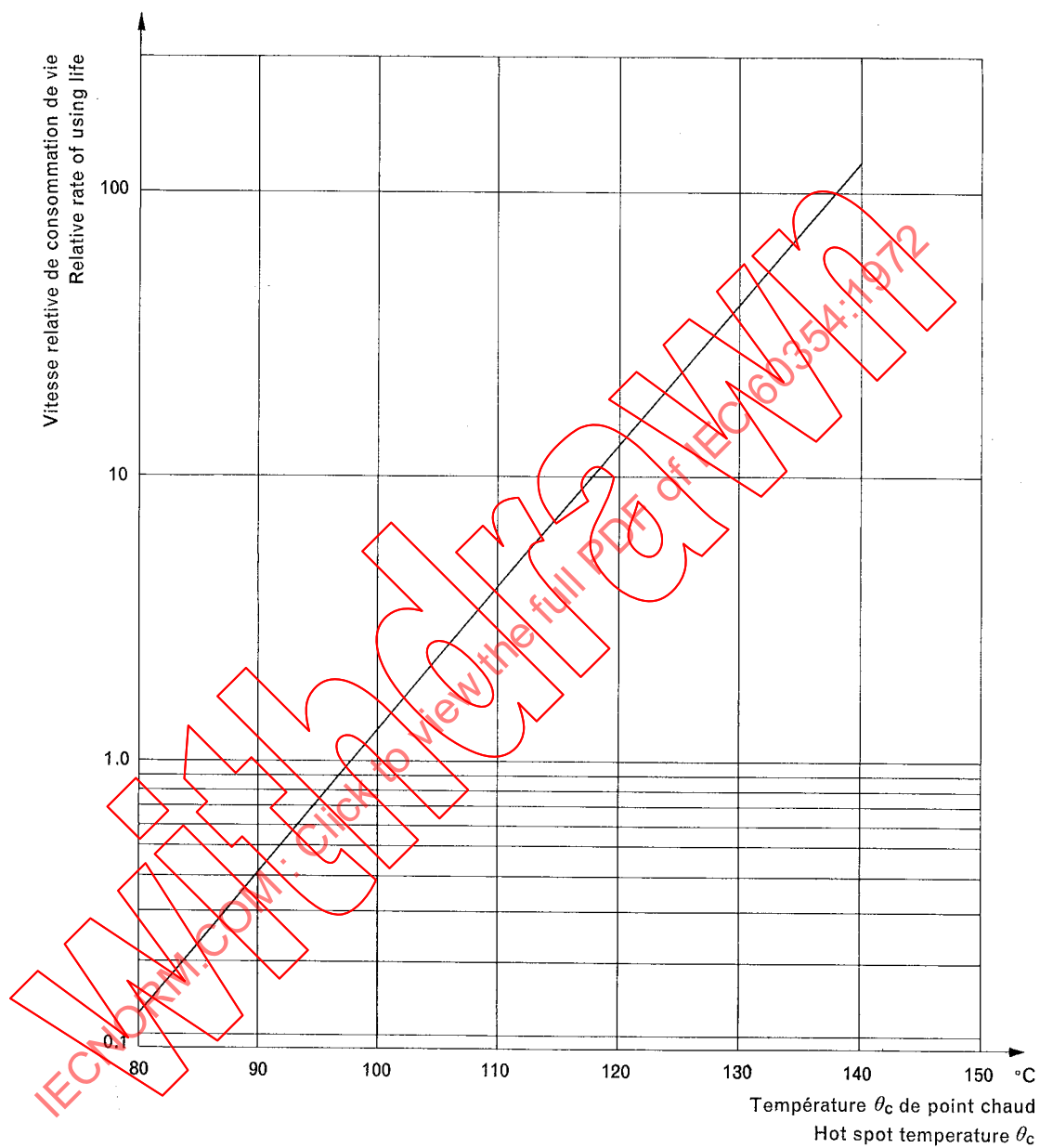


FIG. 4. — Droite de vie.
Life line.

Page blanche
Blank page

Withdawn
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60354:1972

ANNEXE B

RÉGIMES DE SECOURS

1. Objet

Les tableaux I à X du guide de charge correspondent à des régimes de charge qui entraînent en un jour le même vieillissement qu'un jour de fonctionnement à 98 °C, c'est-à-dire à la puissance nominale avec une température ambiante de 20 °C.

On dira que pour ces régimes de charge « normaux » le vieillissement journalier est égal à un « jour normal ».

Comme indiqué au paragraphe 2c) du guide de charge et au paragraphe 2.3.4 de l'annexe A, l'utilisateur peut être conduit temporairement à imposer à son transformateur des charges plus élevées que celles des régimes normaux.

La présente annexe a pour but de donner à l'utilisateur des indications sur les charges qu'il peut imposer au transformateur sans que la limite de température de 140 °C du point chaud des enroulements soit dépassée et sur le vieillissement qu'entraîne l'application de telles charges. Ces indications ne sont valables que si les caractéristiques thermiques du transformateur considéré sont conformes aux hypothèses adoptées pour la préparation du guide (voir article 5 du guide de charge et paragraphes 1.2.1 et 1.2.2 de l'annexe A). De plus, puisque les tableaux sont basés sur cette limite de 140 °C, il n'est pas admissible d'utiliser toutes les marges indiquées dans la note du paragraphe 1.2.1 de l'annexe A, particulièrement si la différence entre l'échauffement moyen de l'enroulement et l'échauffement moyen de l'huile dépasse 21 deg C.

Dans cette annexe on considère, comme pour les régimes normaux, deux types de transformateurs et cinq valeurs de température ambiante.

Les articles 3a) et 3c) du guide de charge attirent l'attention sur la limitation de la charge qui peut être imposée par les accessoires et équipement associés.

2. Diagrammes de charges considérés

2.1 Généralités

Comme pour les régimes normaux, on considère un diagramme de charge journalier, composé de t h à charge $K_1 S_r$ et $(24-t)$ h à charge $K_1 S_r$.

2.2 Valeurs de t

Les valeurs de t sont les huit valeurs déjà utilisées pour les régimes normaux, c'est-à-dire : 0,5 h ; 1 h ; 2 h ; 4 h ; 6 h ; 8 h ; 12 h ; et 24 h.

2.3 Valeurs de K_1 considérées

Les valeurs de K_1 comprennent tout d'abord les six valeurs utilisées pour les régimes normaux, c'est-à-dire : 0,25 ; 0,5 ; 0,7 ; 0,8 ; 0,9 et 1.

Au-delà, la limite à retenir pour K_1 résulte de la limitation à 140 °C de la température du point chaud. Etant donné que la durée d'application de la charge $K_1 S_r$, égale à $(24-t)$ h, est au minimum de 12 h, il convient pour une température ambiante θ_a de limiter K_1 à des valeurs qui, en régime établi, donnent un échauffement ne dépassant pas $(140 - \theta_a)$ deg C.

La température ambiante la plus basse considérée étant 0 °C, cela conduit aux limites suivantes pour K_1 :

- en cas de circulation naturelle de l'huile : 1,4 ;
- en cas de circulation forcée de l'huile : 1,3.

APPENDIX B

EMERGENCY DUTY

1. Object

Tables I to X of the loading guide correspond to duties which result in the same use of life in one day as in a day's operation at 98 °C, i.e. at rated power and at an ambient temperature of 20 °C.

The daily use of life for these "normal" duties will be called a "normal day".

As indicated in Sub-clause 2c) of the loading guide and in Sub-clause 2.3.4 of Appendix A, the user may have to impose temporary loads on the transformer, greater than those carried in normal duty.

This Appendix is intended to give the user some indication of the loads which can be carried by a transformer, without exceeding the winding hot-spot temperature limit of 140 °C and of the use of life entailed assuming that the thermal characteristics of the transformer under consideration are compatible with those adopted for the preparation of the guide (see Clause 5 of the loading guide and Sub-clauses 1.2.1 and 1.2.2 of Appendix A). Since the tables are based on this limit of 140 °C some of the margins referred to in the note to Sub-clause 1.2.1 of Appendix A are not permissible, particularly where the difference between the average winding temperature rise and the average oil temperature rise exceeds 21 deg C.

In this Appendix, as for normal duties, two kinds of transformer and five values of ambient temperature are considered.

Clauses 3a) and 3c) of the loading guide draw attention to limitations to the permissible loading which may be imposed by fittings and associated equipment.

2. Load diagrams considered

2.1 General

As for normal duties, a daily load diagram consisting of t h at a load power of $K_2 S_r$ and $(24-t)$ h at a load power of $K_1 S_r$ has been considered.

2.2 Values of t

The values of t are the eight values already used for normal duties, i.e. 0.5 h ; 1 h ; 2 h ; 4 h ; 6 h ; 8 h ; 12 h and 24 h.

2.3 Values of K_1 considered

The values of K_1 are initially the six values used for normal duties, i.e. 0.25 ; 0.5 ; 0.7 ; 0.8 ; 0.9 and 1.

Thereafter, the limiting value of K_1 is the result of the limit of 140 °C fixed for the hot-spot temperature. Assuming that the duration, $(24-t)$ h, of the load power $K_1 S_r$ is at least 12 h, it is convenient, for an ambient temperature of θ_a , to limit K_1 to values which, for a particular duty, give a temperature rise not exceeding $(140 - \theta_a)$ deg C.

The lowest ambient temperature considered being 0 °C, this gives the following limits of K_1 :

- for natural oil circulation : 1.4 ;
- for forced oil circulation : 1.3.

2.4 Valeurs de K_2 considérées

Pour chacune des deux catégories de transformateurs considérées, correspondant à un type de refroidissement donné, on peut définir une valeur minimale et une valeur maximale de K_2 :

a) Valeur minimale

Il n'y a pas lieu de s'intéresser dans ces tableaux à des valeurs qui conduiraient toujours à des vieillissements journaliers trop inférieurs à l'unité, c'est-à-dire au « jour normal », même à la température ambiante de 40 °C.

Or les tableaux V et X (relatifs aux régimes normaux) montrent que le vieillissement unité est atteint pour une température ambiante de 40 °C et en régime continu ($t = 24$) :

- en cas de circulation naturelle, pour une charge de 0,82 S_r ;
- en cas de circulation forcée, pour une charge de 0,84 S_r .

Toute charge inférieure conduit obligatoirement à des vieillissements inférieurs à l'unité, quel que soit t .

Finalement, on a pris 0,7 comme valeur la plus basse de K_2 dans les tableaux.

b) Valeur maximale

Pour un type de transformateur donné, une première limite de K_2 est imposée par le fait que même pour la température ambiante la plus basse, c'est-à-dire 0 °C et en partant de l'état le plus froid ($K_1 = 0,25$), il ne faut pas dépasser une température de 140 °C au point chaud.

Dans le cas de circulation forcée d'huile, K_2 est ainsi limité à 1,7 pour les surcharges les plus courtes et à des valeurs comprises entre 1,3 et 1,6 pour les autres durées de surcharge. Dans le cas de circulation naturelle de l'huile, cette limite va de 1,4 pour $t = 24$ à plus de 2 pour $t = 0,5$ et 1, mais il a été décidé de ne pas considérer les valeurs de K_2 supérieures à 2.

2.5 Durées courtes de régimes de secours

Les calculs relatifs aux températures et aux vieillissements journaliers pour ces régimes de secours ont été faits en supposant un régime cyclique. S'il s'agit en fait d'un seul jour de régimes de secours, précédé et suivi de jours à charge plus faible, les calculs effectués donnent une valeur de vieillissement qui est supérieure à la réalité et comporte donc une marge de sécurité.

3. Choix et utilisation des tableaux avec exemples

3.1 Introduction

On pourrait penser à avoir, comme pour les régimes normaux, un tableau pour chacune des cinq valeurs de température ambiante, mais il convient de remarquer que cette solution donnerait un volume énorme de tableaux.

En effet, le nombre total de cases serait environ 15 fois plus élevé que pour les régimes normaux puisque, pour une valeur donnée de t et une valeur donnée de K_1 , on considère une dizaine de valeurs de K_2 au lieu d'une et que, de plus, le nombre de valeurs de K_1 est plus élevé que pour les régimes normaux.

En fait, avoir une série de tableaux pour chacune des cinq valeurs de la température ambiante n'est pas nécessaire et la solution adoptée divise pratiquement par cinq le volume de tableaux.

3.2 Présentation des tableaux

Il a été retenu de présenter les résultats en 16 tableaux correspondant aux deux catégories de transformateurs et aux huit valeurs de t :

- transformateurs ONAN et ONAF : tableaux XI à XVIII ;
- transformateurs OFAF et OFWF : tableaux XIX à XXVI.

2.4 Values of K_2 considered

For each of the two kinds of transformer considered, corresponding to a given type of cooling, a maximum and minimum value of K_2 can be fixed :

a) Minimum value

There is no need to include in the table values which always lead to a daily use of life much less than unity, i.e. less than a “normal day”, even in an ambient temperature of 40 °C.

However, Tables V and X (for normal duties) show that a use of life of unity is reached for an ambient temperature of 40 °C on continuous duty ($t = 24$) :

- for natural oil circulation, at a load power of $0.82S_r$;
- for forced oil circulation, at a load power of $0.84S_r$.

Any lower load must result in use of life less than unity, whatever the value of t .

This has led to the adoption of 0.7 as the lower limit of K_2 to appear in the tables.

b) Maximum value

For a given type of transformer, an overriding limit for the value of K_2 is fixed by the fact that, even for the lowest ambient temperature (0 °C) and starting from the coldest condition ($K_1 = 0.25$), a hot-spot temperature of 140 °C must not be exceeded.

With forced oil circulation the value of K_2 is thus limited to 1.7 for the shortest overloads and to values between 1.3 and 1.6 for other durations of overload. With natural oil circulation the limiting value ranges from 1.4 for $t = 24$ to greater than 2 for $t = 0.5$ and 1, but it has been decided not to take into consideration values of K_2 greater than 2.

2.5 Short periods of emergency duty

The temperatures and daily use of life for these emergency duties have been calculated on the basis of cyclic duty. If the actual situation requires a single day of emergency duty, preceded and followed by days on lower loads, the calculated values of use of life are greater than would actually occur and thus include a safety margin.

3. Choice and use of tables, with examples

3.1 Introduction

It would be possible to have one table for each of the five values of ambient temperature, as for normal duties, but the number of tables would be inconveniently large.

The total number of cases would be about 15 times greater than for normal duties, because about ten values of K_2 would have to be considered for each given value of t and K_1 , instead of one, and because the number of values of K_1 is greater than for normal duties.

In practice, it is not necessary to have a series of tables for each of the five values of ambient temperature and the arrangement adopted has reduced the number of tables to about a fifth of what would otherwise have been required.

3.2 Arrangement of tables

The information has been presented in 16 tables corresponding to the two kinds of transformer and the eight values of t , as follows :

- ONAN and ONAF transformers : Tables XI to XVIII ;
- OFAF and OFWF transformers : Tables XIX to XXVI.

Ces tableaux permettent de vérifier si un diagramme de charge défini par des valeurs de K_1 et K_2 est admissible pour une température ambiante donnée et, s'il est admissible, quel vieillissement journalier il entraîne alors. Ce vieillissement est exprimé en multiple d'un « jour normal », cette unité correspondant à un jour de fonctionnement à la puissance nominale à la température ambiante de 20 °C.

3.3 Mode d'emploi des tableaux, avec exemples

Pour plus de facilité d'utilisation, le mode d'emploi des tableaux est répété en tête de chacun d'eux.

Donnons seulement quelques exemples, en considérant le tableau XII relatif au cas $t = 1$ h pour les transformateurs ONAN et ONAF. Considérons deux diagrammes de charge correspondant tous deux à $K_1 = 0,8$ mais avec respectivement $K_2 = 1,6$ et $K_2 = 1,5$ et regardons si, lorsque la température ambiante est de 30 °C, on peut admettre ces diagrammes de charge et au prix de quel vieillissement journalier. On voit que :

- Pour $K_2 = 1,6$, la case porte la lettre B, ce qui interdit d'utiliser ce diagramme de charge à la température ambiante de 30 °C.
- Pour $K_2 = 1,5$, la case porte la lettre A. On peut donc utiliser ce diagramme de charge à la température ambiante de 30 °C et le vieillissement est alors :

$$0,416 \times 3,2 = 1,33 \text{ « jour normal »}$$

qu'on arrondira à 1,3 « jour normal ».

3.4 Commentaires

Le signe + et les lettres D, C, B et A signifient que l'échauffement du point chaud des enroulements, en fin de surcharge, se situe dans une certaine plage :

Signe ou lettre	Echauffement du point chaud des enroulements	
	Supérieur à (deg C)	Ne dépassant pas (deg C)
+	140	—
D	130	140
C	120	130
B	110	120
A	100	110

Quand il n'y a ni signe ni lettre, l'échauffement du point chaud est au plus égal à 100 deg C.

Bien entendu, ceci indique immédiatement quels sont les régimes admissibles en ambiance 0 °C, 10 °C, 20 °C, 30 °C et 40 °C sans dépasser une température du point chaud des enroulements de 140 °C.

Quant aux nombres marqués dans les cases, ils représentent un « vieillissement relatif », rapport entre le vieillissement journalier correspondant au diagramme de charge considéré et le vieillissement journalier provoqué, à température ambiante égale, par le fonctionnement continu à la puissance nominale, ce dernier cas étant d'ailleurs représenté par la case $K_1 = K_2 = 1$. Comme ce diagramme de charge de référence donne un vieillissement journalier égal à un « jour normal » en ambiance 20 °C et respectivement à 10 ; 3,2 ; 0,32 et 0,1 « jour normal » en ambiance 40 °C, 30 °C, 10 °C, 0 °C, il en résulte le mode d'emploi précité.

Dans les tableaux, on a indiqué les vieillissements relatifs avec trois chiffres significatifs. Une telle précision peut paraître à juste titre excessive, mais elle a pour but de faciliter le tracé éventuel de courbes et les interpolations, les valeurs devant être arrondies en fin de calcul.

With the aid of these tables it can be ascertained whether a load diagram characterized by particular values of K_1 and K_2 is permissible for a given ambient temperature and, if so, what daily use of life it will entail. This use of life is expressed in "normal days", i.e. equivalent days of operation at rated power in an ambient temperature of 20 °C.

3.3 Use of tables, with examples

For convenient reference, the method of using the tables is repeated at the head of each table.

To illustrate the method, Table XII may be applied to the case in which $t = 1$ h for ONAN and ONAF transformers. Consider two load diagrams, both corresponding to $K_1 = 0.8$ but one with $K_2 = 1.6$ and the other with $K_2 = 1.5$ and see whether, when the ambient temperature is 30 °C, these load diagrams are permissible and what daily use of life they would entail. It will be seen that :

- a) For $K_2 = 1.6$, the letter B appears in the table, which indicates that this load diagram is not permissible in an ambient temperature of 30 °C.
- b) For $K_2 = 1.5$, the letter A appears in the table. This indicates that the load diagram is permissible in an ambient temperature of 30 °C. The daily use of life would be :

$$0.416 \times 3.2 = 1.33 \text{ "normal days"}$$

which would be rounded off to 1.3 "normal days".

3.4 Explanatory notes

The addition sign + and the letters D, C, B, and A indicate that the winding hot-spot temperature rise at the end of the period of overload would be in a particular region as follows :

Sign or letter	Winding hot-spot temperature rise	
	Above (deg C)	Up to and including (deg C)
+	140	—
D	130	140
C	120	130
B	110	120
A	100	110

Where neither the sign nor a letter appears in the table, the hot-spot temperature rise would not exceed 100 deg C.

This immediately indicates what duties are permissible in ambient temperatures of 0 °C, 10 °C, 20 °C, 30 °C and 40 °C without exceeding a winding hot-spot temperature of 140 °C.

The values given in the body of the table represent "relative use of life" when the daily use of life corresponding to the load diagram under consideration is compared with the daily use of life in the same ambient temperature due to continuous operation at rated power. Such operation is represented by the case in which $K_1 = K_2 = 1$. As this reference load diagram gives a daily use of one "normal day" in an ambient temperature of 20 °C, and 10 ; 3.2 ; 0.32 and 0.1 "normal days" in ambient temperatures of 40 °C, 30 °C, 10 °C and 0 °C respectively, it follows that the method already described may be used.

The relative use of life is given in the tables to an accuracy of three significant figures. Such precision may appear unjustifiable, but it makes it easy to draw curves and make interpolations, on the understanding that the values obtained will be rounded off at the end of the calculations.

4. Remarque sur la « sur-consommation de vie » due à une surcharge

Un transformateur fonctionnant tout au long de l'année à charge constante en un lieu où la température ambiante moyenne annuelle pondérée, telle que définie dans le guide de charge, est 20 °C, peut fonctionner à sa puissance nominale S_r 24 h sur 24.

En été, en ambiance 30 °C par exemple, la consommation journalière de vie avec ce régime dépasse un « jour normal » et atteindra 3,2 « jours normaux », mais ceci sera compensé par les périodes d'hiver à faible température ambiante.

Si maintenant on est conduit à surcharger de 10% le transformateur alors que l'ambiance est 30 °C, le vieillissement passera de 3,2 à 16 « jours normaux » pour un transformateur à circulation forcée d'huile par exemple.

En toute rigueur, ce qu'il faut imputer à la surcharge, ce n'est pas les 16 « jours normaux » mais la différence entre 16 et 3,2 (soit 12,8) « jours normaux ».

En général, pour avoir la « sur-consommation de vie » due à la surcharge pour les régimes de charge indiqués dans les tableaux, il convient de retirer du vieillissement déduit de ces tableaux la « consommation de base » ou consommation de vie qu'aurait entraînée ce jour-là l'application du régime de charge normal annuel, qui appliqué tous les jours de l'année correspond à une consommation de vie de 365 « jours normaux ».

La « consommation de base » pour un jour déterminé est égale à un « jour normal » quand la température ambiante journalière est égale à la température ambiante annuelle pondérée 20 °C qui a servi à définir le régime de charge normal annuel.

Pour des températures ambiantes journalières entre 0 °C et 40 °C la consommation de vie est donnée ci-après :

Température ambiante (° C)	Consommation de vie « Jours normaux »
0	0,1
10	0,32
20	1,0
30	3,2
40	10

4. Note on the “over-consumption of life” due to an overload

A transformer carrying a constant load throughout the year in a place where the weighted mean ambient temperature, as defined in the loading guide, is 20 °C, can operate at its rated power S_r for 24 h a day.

In the summer, in an ambient temperature of 30 °C for example, the daily use of life under these conditions is greater than a “normal day” and may be as great as 3.2 “normal days”, but the periods of low ambient temperature in the winter compensate for this.

If the transformer is overloaded by 10% while the ambient temperature is 30 °C, the daily use of life will rise from 3.2 to 16 “normal days”, for a forced oil circulation transformer, for example.

Strictly, it is not the 16 “normal days” but the difference between 16 and 3.2 (i.e. 12.8) “normal days” that should be attributed to the overload.

In general, to obtain the “over-consumption of life” due to the overload, for the duties covered by the tables, it is necessary to deduct from the use of life shown in the tables the “base consumption” or use of life which would have occurred on the particular day if the normal load cycle, corresponding to a use of life of 365 “normal days” in the course of a year, had been applied.

The “base consumption” for a given day is equal to a “normal day” when the daily ambient temperature is equal to the weighted annual ambient temperature of 20 °C, used in defining the normal annual load cycle.

For daily ambient temperatures between 0 °C and 40 °C the use of life is given below :

Ambient temperature (° C)	Use of life “Normal days”
0	0.1
10	0.32
20	1.0
30	3.2
40	10

TABLEAU XI

Transformateurs ONAN et ONAF : $t = 0,5 h$

Régimes admissibles et vieillissement journalier correspondant (en « jours normaux »)

Pour déterminer si un régime de charge journalier défini par K_1 et K_2 est admissible et pour évaluer le vieillissement journalier qu'il entraîne, il faut opérer comme suit :

Température ambiante	40 °C	30 °C	20 °C	10 °C	0 °C
Symboles utilisés dans le tableau ci-dessous pour indiquer que le régime n'est pas admissible si la température ambiante dépasse la valeur indiquée.	Voir ci-dessous	A	B	C	D
<i>Vieillissement journalier :</i> Multiplier la valeur figurant dans la case appropriée du tableau ci-dessous, par le coefficient ci-contre, puis arrondir la valeur obtenue	10	3,2	1	0,32	0,1

Les cases marquées + correspondent à des régimes inadmissibles même en ambiance 0 °C. Quand la case considérée ne contient ni le signe + ni une lettre, l'échauffement du point chaud ne dépassera pas 100 deg C et le régime est admissible même pour une température ambiante atteignant 40 °C. Aucune valeur n'est donnée au cas où K_2 serait inférieur à K_1 .

$K_1 \backslash K_2$	0,25	0,5	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4
0,7	0,001	0,004	0,026							
0,8	0,001	0,004	0,027	0,079						
0,9	0,001	0,005	0,028	0,081	0,266					
1	0,001	0,005	0,029	0,084	0,274	1,00				
1,1	0,001	0,006	0,031	0,089	0,286	1,03	4,18			
1,2	0,002	0,007	0,034	0,096	0,303	1,08	4,33	19,3 A		
1,3	0,002	0,008	0,040	0,108	0,332	1,16	4,55 A	20,1 A	99,0 B	
1,4	0,004	0,012	0,051	0,130	0,381	1,28 A	4,90 A	21,2 B	103 C	558 D
1,5	0,006	0,018	0,071	0,171	0,472	1,50 A	5,50 B	23,0 C	109 D	583 D
1,6	0,012	0,031	0,112	0,252 A	0,647 A	1,92 B	6,58 C	26,2 C	119 D	+
1,7	0,023	0,059	0,196 A	0,418 A	1,00 B	2,75 C	8,68 C	32,0 D	+	+
1,8	0,047	0,119	0,377 A	0,774 B	1,76 C	4,49 C	13,0 D	+	+	+
1,9	0,101	0,252 A	0,780 B	1,56 C	3,42 C	8,29 D	+	+	+	+
2	0,226 A	0,560 B	1,70 C	3,36 C	7,22 D	+	+	+	+	+

TABLE XI

ONAN and ONAF transformers : $t = 0.5 h$

Permissible duties and corresponding daily use of life (in “normal days”)

To determine whether a daily load diagram characterized by particular values of K_1 and K_2 is permissible and to evaluate the daily use of life entailed, proceed as follows :

Ambient temperature	40 °C	30 °C	20 °C	10 °C	0 °C
Symbols used in the table below to indicate that duty is not permissible at ambient temperatures above the value indicated	See below	A	B	C	D
Daily use of life : Multiply the value given in the table below by the factor given here, then round off the result	10	3.2	1	0.32	0.1

Where the + sign appears, the duty is not permissible even in an ambient temperature of 0 °C. Where neither the + sign nor a letter appears in the table the hot-spot temperature rise will not exceed 100 deg C and operation is permissible at ambient temperatures up to 40 °C. No value is given where K_2 would be less than K_1 .

$K_1 \backslash K_2$	0.25	0.5	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4
0.7	0.001	0.004	0.026							
0.8	0.001	0.004	0.027	0.079						
0.9	0.001	0.005	0.028	0.081	0.266					
1	0.001	0.005	0.029	0.084	0.274	1.00				
1.1	0.001	0.006	0.031	0.089	0.286	1.03	4.18			
1.2	0.002	0.007	0.034	0.096	0.303	1.08	4.33	19.3 A		
1.3	0.002	0.008	0.040	0.108	0.332	1.16	4.55 A	20.1 A	99.0 B	
1.4	0.004	0.012	0.051	0.130	0.381	1.28 A	4.90 A	21.2 B	103 C	558 D
1.5	0.006	0.018	0.071	0.171	0.472	1.50 A	5.50 B	23.0 C	109 D	583 D
1.6	0.012	0.031	0.112	0.252 A	0.647 A	1.92 B	6.58 C	26.2 C	119 D	+
1.7	0.023	0.059	0.196 A	0.418 A	1.00 B	2.75 C	8.68 C	32.0 D	+	+
1.8	0.047	0.119	0.377 A	0.774 B	1.76 C	4.49 C	13.0 D	+	+	+
1.9	0.101	0.252 A	0.780 B	1.56 C	3.42 C	8.29 D	+	+	+	+
2	0.226 A	0.560 B	1.70 C	3.36 C	7.22 D	+	+	+	+	+

TABLEAU XII

Transformateurs ONAN et ONAF : $t = 1 h$

Régimes admissibles et vieillissement journalier correspondant (en « jours normaux »)

Pour déterminer si un régime de charge journalier défini par K_1 et K_2 est admissible et pour évaluer le vieillissement journalier qu'il entraîne, il faut opérer comme suit :

Température ambiante	40 °C	30 °C	20 °C	10 °C	0 °C
Symboles utilisés dans le tableau ci-dessous pour indiquer que le régime n'est pas admissible si la température ambiante dépasse la valeur indiquée	Voir ci-dessous	A	B	C	D
Vieillissement journalier : Multiplier la valeur figurant dans la case appropriée du tableau ci-dessous, par le coefficient ci-contre, puis arrondir la valeur obtenue	10	3,2	1	0,32	0,1

Les cases marquées + correspondent à des régimes inadmissibles même en ambiance 0 °C. Quand la case considérée ne contient ni le signe + ni une lettre, l'échauffement du point chaud ne dépassera pas 100 deg C et le régime est admissible même pour une température ambiante atteignant 40 °C. Aucune valeur n'est donnée au cas où K_2 serait inférieur à K_1 .

$K_1 \backslash K_2$	0,25	0,5	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4
0,7	0,001	0,004	0,026							
0,8	0,001	0,005	0,027	0,079						
0,9	0,001	0,005	0,029	0,083	0,266					
1	0,002	0,006	0,032	0,091	0,283	1,00				
1,1	0,003	0,008	0,039	0,102	0,310	1,07	4,18			
1,2	0,004	0,012	0,049	0,123	0,356	1,18	4,50	19,3 A		
1,3	0,007	0,019	0,069	0,162	0,439	1,38	5,03 A	20,9 B	99,0 B	
1,4	0,014	0,034	0,112	0,242	0,604	1,75 A	5,97 B	23,6 B	108 C	558 D
1,5	0,029	0,069	0,205	0,416 A	0,953 A	2,52 B	7,81 B	28,6 C	123 D	+
1,6	0,066	0,150	0,424 A	0,815 B	1,74 B	4,20 C	11,7 C	38,6 D	+	+
1,7	0,158	0,353 A	0,958 B	1,78 B	3,63 C	8,15 C	20,7 D	+	+	+
1,8	0,397 A	0,876 B	2,33 C	4,25 C	8,38 D	18,0 D	+	+	+	+
1,9	1,05 B	2,29 C	6,00 D	10,8 D	+	+	+	+	+	+
2	2,88 C	6,27 D	+	+	+	+	+	+	+	+

TABLE XII

ONAN and ONAF transformers : $t = 1 h$

Permissible duties and corresponding daily use of life (in “normal days”)

To determine whether a daily load diagram characterized by particular values of K_1 and K_2 is permissible and to evaluate the daily use of life entailed, proceed as follows :

Ambient temperature	40 °C	30 °C	20 °C	10 °C	0 °C
Symbols used in the table below to indicate that duty is not permissible at ambient temperatures above the value indicated	See below	A	B	C	D
Daily use of life : Multiply the value given in the table below by the factor given here, then round off the result	10	3.2	1	0.32	0.1

Where the + sign appears, the duty is not permissible even in an ambient temperature of 0 °C. Where neither the + sign nor a letter appears in the table the hot-spot temperature rise will not exceed 100 deg C and operation is permissible at ambient temperatures up to 40 °C. No value is given where K_2 would be less than K_1 .

$K_1 \backslash K_2$	0.25	0.5	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4
0.7	0.001	0.004	0.026							
0.8	0.001	0.005	0.027	0.079						
0.9	0.001	0.005	0.029	0.083	0.266					
1	0.002	0.006	0.032	0.091	0.283	1.00				
1.1	0.003	0.008	0.039	0.102	0.310	1.07	4.18			
1.2	0.004	0.012	0.049	0.123	0.356	1.18	4.50	19.3 A		
1.3	0.007	0.019	0.069	0.162	0.439	1.38	5.03 A	20.9 B	99.0 B	
1.4	0.014	0.034	0.112	0.242	0.604	1.75 A	5.97 B	23.6 B	108 C	558 D
1.5	0.029	0.069	0.205	0.416 A	0.953 A	2.52 B	7.81 B	28.6 C	123 D	+
1.6	0.066	0.150	0.424 A	0.815 B	1.74 B	4.20 C	11.7 C	38.6 D	+	+
1.7	0.158	0.353 A	0.958 B	1.78 B	3.63 C	8.15 C	20.7 D	+	+	+
1.8	0.397 A	0.876 B	2.33 C	4.25 C	8.38 D	18.0 D	+	+	+	+
1.9	1.05 B	2.29 C	6.00 D	10.8 D	+	+	+	+	+	+
2	2.88 C	6.27 D	+	+	+	+	+	+	+	+

TABLEAU XIII

Transformateurs ONAN et ONAF : $t = 2 h$

Régimes admissibles et vieillissement journalier correspondant (en « jours normaux »)

Pour déterminer si un régime de charge journalier défini par K_1 et K_2 est admissible et pour évaluer le vieillissement journalier qu'il entraîne, il faut opérer comme suit :

Température ambiante	40 °C	30 °C	20 °C	10 °C	0 °C
Symboles utilisés dans le tableau ci-dessous pour indiquer que le régime n'est pas admissible si la température ambiante dépasse la valeur indiquée	Voir ci-dessous	A	B	C	D
<i>Vieillessement journalier :</i> Multiplier la valeur figurant dans la case appropriée du tableau ci-dessous, par le coefficient ci-contre, puis arrondir la valeur obtenue	10	3,2	1	0,32	0,1

Les cases marquées + correspondent à des régimes inadmissibles même en ambiance 0 °C. Quand la case considérée ne contient ni le signe + ni une lettre, l'échauffement du point chaud ne dépassera pas 100 deg C et le régime est admissible même pour une température ambiante atteignant 40 °C. Aucune valeur n'est donnée au cas où K_2 serait inférieur à K_1 .

[illegible]

TABLE XIII

ONAN and ONAF transformers : $t = 2h$

Permissible duties and corresponding daily use of life (in “normal days”)

To determine whether a daily load diagram characterized by particular values of K_1 and K_2 is permissible and to evaluate the daily use of life entailed, proceed as follows :

Ambient temperature	40 °C	30 °C	20 °C	10 °C	0 °C
Symbols used in the table below to indicate that duty is not permissible at ambient temperatures above the value indicated	See below	A	B	C	D
<i>Daily use of life :</i> Multiply the value given in the table below by the factor given here, then round off the result	10	3.2	1	0.32	0.1

Where the + sign appears, the duty is not permissible even in an ambient temperature of 0 °C. Where neither the + sign nor a letter appears in the table the hot-spot temperature rise will not exceed 100 deg C and operation is permissible at ambient temperatures up to 40 °C. No value is given where K_2 would be less than K_1 .

[illegible]

TABLEAU XIV

Régimes admissibles et vieillissement journalier correspondant (en « jours normaux »)

Pour déterminer si un régime de charge journalier défini par K_1 et K_2 est admissible et pour évaluer le vieillissement journalier qu'il entraîne, il faut opérer comme suit :

Température ambiante	40 °C	30 °C	20 °C	10 °C	0 °C
Symboles utilisés dans le tableau ci-dessous pour indiquer que le régime n'est pas admissible si la température ambiante dépasse la valeur indiquée	Voir ci-dessous	A	B	C	D
<i>Vieillessement journalier :</i> Multiplier la valeur figurant dans la case appropriée du tableau ci-dessous, par le coefficient ci-contre, puis arrondir la valeur obtenue	10	3,2	1	0,32	0,1

Les cases marquées + correspondent à des régimes inadmissibles même en ambiance 0 °C. Quand la case considérée ne contient ni le signe + ni une lettre, l'échauffement du point chaud ne dépassera pas 100 deg C et le régime est admissible même pour une température ambiante atteignant 40 °C. Aucune valeur n'est donnée au cas où K_2 serait inférieur à K_1 .

[illegible]

TABLE XIV
ONAN and ONAF transformers : $t = 4\text{ h}$

Permissible duties and corresponding daily use of life (in “normal days”)

To determine whether a daily load diagram characterized by particular values of K_1 and K_2 is permissible and to evaluate the daily use of life entailed, proceed as follows :

Ambient temperature	40 °C	30 °C	20 °C	10 °C	0 °C
Symbols used in the table below to indicate that duty is not permissible at ambient temperatures above the value indicated	See below	A	B	C	D
<i>Daily use of life :</i> Multiply the value given in the table below by the factor given here, then round off the result	10	3.2	1	0.32	0.1

Where the + sign appears, the duty is not permissible even in an ambient temperature of 0 °C. Where neither the + sign nor a letter appears in the table the hot-spot temperature rise will not exceed 100 deg C and operation is permissible at ambient temperatures up to 40 °C. No value is given where K_2 would be less than K_1 .

[illegible]

TABLEAU XV

Régimes admissibles et vieillissement journalier correspondant (en « jours normaux »)

Pour déterminer si un régime de charge journalier défini par K_1 et K_2 est admissible et pour évaluer le vieillissement journalier qu'il entraîne, il faut opérer comme suit :

Température ambiante	40 °C	30 °C	20 °C	10 °C	0 °C
Symboles utilisés dans le tableau ci-dessous pour indiquer que le régime n'est pas admissible si la température ambiante dépasse la valeur indiquée	Voir ci-dessous	A	B	C	D
<i>Vieillessement journalier :</i> Multiplier la valeur figurant dans la case appropriée du tableau ci-dessous, par le coefficient ci-contre, puis arrondir la valeur obtenue	10	3,2	1	0,32	0,1

Les cases marquées + correspondent à des régimes inadmissibles même en ambiance 0 °C. Quand la case considérée ne contient ni le signe + ni une lettre, l'échauffement du point chaud ne dépassera pas 100 deg C et le régime est admissible même pour une température ambiante atteignant 40 °C. Aucune valeur n'est donnée au cas où K_2 serait inférieur à K_1 .

[illegible]

TABLE XV
ONAN and ONAF transformers : t = 6 h

Permissible duties and corresponding daily use of life (in “normal days”)

To determine whether a daily load diagram characterized by particular values of K_1 and K_2 is permissible and to evaluate the daily use of life entailed, proceed as follows :

Ambient temperature	40 °C	30 °C	20 °C	10 °C	0 °C
Symbols used in the table below to indicate that duty is not permissible at ambient temperatures above the value indicated	See below	A	B	C	D
<i>Daily use of life :</i> Multiply the value given in the table below by the factor given here, then round off the result	10	3.2	1	0.32	0.1

Where the + sign appears, the duty is not permissible even in an ambient temperature of 0 °C. Where neither the + sign nor a letter appears in the table the hot-spot temperature rise will not exceed 100 deg C and operation is permissible at ambient temperatures up to 40 °C. No value is given where K_2 would be less than K_1 .

[illegible]

TABLEAU XVI

Transformateurs ONAN et ONAF : $t = 8\text{ h}$

Régimes admissibles et vieillissement journalier correspondant (en « jours normaux »)

Pour déterminer si un régime de charge journalier défini par K_1 et K_2 est admissible et pour évaluer le vieillissement journalier qu'il entraîne, il faut opérer comme suit :

Température ambiante	40 °C	30 °C	20 °C	10 °C	0 °C
Symboles utilisés dans le tableau ci-dessous pour indiquer que le régime n'est pas admissible si la température ambiante dépasse la valeur indiquée	Voir ci-dessous	A	B	C	D
<i>Vieillessement journalier :</i> Multiplier la valeur figurant dans la case appropriée du tableau ci-dessous, par le coefficient ci-contre, puis arrondir la valeur obtenue	10	3,2	1	0,32	0,1

Les cases marquées + correspondent à des régimes inadmissibles même en ambiance 0 °C. Quand la case considérée ne contient ni le signe + ni une lettre, l'échauffement du point chaud ne dépassera pas 100 deg C et le régime est admissible même pour une température ambiante atteignant 40 °C. Aucune valeur n'est donnée au cas où K_2 serait inférieur à K_1 .

[illegible]

TABLE XVI

ONAN and ONAF transformers : $t = 8\text{ h}$

Permissible duties and corresponding daily use of life (in “normal days”)

To determine whether a daily load diagram characterized by particular values of K_1 and K_2 is permissible and to evaluate the daily use of life entailed, proceed as follows :

Ambient temperature	40 °C	30 °C	20 °C	10 °C	0 °C
Symbols used in the table below to indicate that duty is not permissible at ambient temperatures above the value indicated	See below	A	B	C	D
<i>Daily use of life :</i> Multiply the value given in the table below by the factor given here, then round off the result	10	3.2	1	0.32	0.1

Where the + sign appears, the duty is not permissible even in an ambient temperature of 0 °C. Where neither the + sign nor a letter appears in the table the hot-spot temperature rise will not exceed 100 deg C and operation is permissible at ambient temperatures up to 40 °C. No value is given where K_2 would be less than K_1 .

[illegible]

TABLEAU XVII

Transformateurs ONAN et ONAF : $t = 12\text{ h}$

Régimes admissibles et vieillissement journalier correspondant (en « jours normaux »)

Pour déterminer si un régime de charge journalier défini par K_1 et K_2 est admissible et pour évaluer le vieillissement journalier qu'il entraîne, il faut opérer comme suit :

Température ambiante	40 °C	30 °C	20 °C	10 °C	0 °C
Symboles utilisés dans le tableau ci-dessous pour indiquer que le régime n'est pas admissible si la température ambiante dépasse la valeur indiquée	Voir ci-dessous	A	B	C	D
<i>Vieillessement journalier :</i> Multiplier la valeur figurant dans la case appropriée du tableau ci-dessous, par le coefficient ci-contre, puis arrondir la valeur obtenue	10	3,2	1	0,32	0,1

Les cases marquées + correspondent à des régimes inadmissibles même en ambiance 0 °C. Quand la case considérée ne contient ni le signe + ni une lettre, l'échauffement du point chaud ne dépassera pas 100 deg C et le régime est admissible même pour une température ambiante atteignant 40 °C. Aucune valeur n'est donnée au cas où K_2 serait inférieur à K_1 .

[illegible]

TABLE XVII

ONAN and ONAF transformers : t = 12 h

Permissible duties and corresponding daily use of life (in “normal days”)

To determine whether a daily load diagram characterized by particular values of K_1 and K_2 is permissible and to evaluate the daily use of life entailed, proceed as follows :

Ambient temperature	40 °C	30 °C	20 °C	10 °C	0 °C
Symbols used in the table below to indicate that duty is not permissible at ambient temperatures above the value indicated	See below	A	B	C	D
<i>Daily use of life :</i> Multiply the value given in the table below by the factor given here, then round off the result	10	3.2	1	0.32	0.1

Where the + sign appears, the duty is not permissible even in an ambient temperature of 0 °C. Where neither the + sign nor a letter appears in the table the hot-spot temperature rise will not exceed 100 deg C and operation is permissible at ambient temperatures up to 40 °C. No value is given where K_2 would be less than K_1 .

[illegible]

TABLEAU XVIII
Transformateurs ONAN et ONAF : $t = 24\text{ h}$

Régimes admissibles et vieillissement journalier correspondant (en « jours normaux »)

Pour déterminer si un régime de charge journalier défini par la valeur de K_2 est admissible et pour évaluer le vieillissement journalier qu'il entraîne, il faut opérer comme suit :

Température ambiante	40 °C	30 °C	20 °C	10 °C	0 °C
Symboles utilisés dans le tableau ci-dessous pour indiquer que le régime n'est pas admissible si la température ambiante dépasse la valeur indiquée	Voir ci-dessous	A	B	C	D
<i>Vieillissement journalier :</i> Multiplier la valeur figurant dans la case appropriée du tableau ci-dessous, par le coefficient ci-contre, puis arrondir la valeur obtenue	10	3,2	1	0,32	0,1

Les cases marquées + correspondent à des régimes inadmissibles même en ambiance 0 °C. Quand la case considérée ne contient ni le signe + ni une lettre, l'échauffement du point chaud ne dépassera pas 100 deg C et le régime est admissible même pour une température ambiante atteignant 40 °C. Aucune valeur n'est donnée au cas où K_2 serait inférieur à K_1 .

K_2	
0,7	0,026
0,8	0,079
0,9	0,266
1,0	1,00
1,1	4,18
1,2	19,3 A
1,3	99,0 B
1,4	558 D
1,5	+

Note. — Les valeurs de ce tableau figurent déjà dans les 7 tableaux précédents, dans les cases qui correspondent à $K_1 = K_2$.

TABLE XVIII
ONAN and ONAF transformers : $t = 24 h$

Permissible duties and corresponding daily use of life (in “normal days”)

To determine whether a daily load diagram characterized by the value of K_2 is permissible and to evaluate the daily use of life entailed, proceed as follows :

Ambient temperature	40 °C	30 °C	20 °C	10 °C	0 °C
Symbols used in the table below to indicate that duty is not permissible at ambient temperatures above the value indicated	See below	A	B	C	D
<i>Daily use of life :</i> Multiply the value given in the table below by the factor given here, then round off the result	10	3.2	1	0.32	0.1

Where the + sign appears, the duty is not permissible even in an ambient temperature of 0 °C. Where neither the + sign nor a letter appears in the table the hot-spot temperature rise will not exceed 100 deg C and operation is permissible at ambient temperatures up to 40 °C. No value is given where K_2 would be less than K_1 .

K_2	
0.7	0.026
0.8	0.079
0.9	0.266
1.0	1.00
1.1	4.18
1.2	19.3 A
1.3	99.0 B
1.4	558 D
1.5	+

Note. — The values given in this table have already appeared in the seven preceding tables in the cases where $K_1 = K_2$.

TABLEAU XIX

Transformateurs OFAF et OFWF : $t = 0,5 h$

Régimes admissibles et vieillissement journalier correspondant (en « jours normaux »)

Pour déterminer si un régime de charge journalier défini par K_1 et K_2 est admissible et pour évaluer le vieillissement journalier qu'il entraîne, il faut opérer comme suit :

Température ambiante	40 °C	30 °C	20 °C	10 °C	0 °C
Symboles utilisés dans le tableau ci-dessous pour indiquer que le régime n'est pas admissible si la température ambiante dépasse la valeur indiquée	Voir ci-dessous	A	B	C	D
<i>Vieillessement journalier :</i> Multiplier la valeur figurant dans la case appropriée du tableau ci-dessous, par le coefficient ci-contre, puis arrondir la valeur obtenue	10	3,2	1	0,32	0,1

Les cases marquées + correspondent à des régimes inadmissibles même en ambiance 0 °C. Quand la case considérée ne contient ni le signe + ni une lettre, l'échauffement du point chaud ne dépassera pas 100 deg C et le régime est admissible même pour une température ambiante atteignant 40 °C. Aucune valeur n'est donnée au cas où K_2 serait inférieur à K_1 .

[illegible]

TABLE XIX

OFAF and OFWF transformers : $t = 0.5 h$

Permissible duties and corresponding daily use of life (in “normal days”)

To determine whether a daily load diagram characterized by particular values of K_1 and K_2 is permissible and to evaluate the daily use of life entailed, proceed as follows :

Ambient temperature	40 °C	30 °C	20 °C	10 °C	0 °C
Symbols used in the table below to indicate that duty is not permissible at ambient temperatures above the value indicated	See below	A	B	C	D
<i>Daily use of life :</i> Multiply the value given in the table below by the factor given here, then round off the result	10	3.2	1	0.32	0.1

Where the + sign appears, the duty is not permissible even in an ambient temperature of 0 °C. Where neither the + sign nor a letter appears in the table the hot-spot temperature rise will not exceed 100 deg C and operation is permissible at ambient temperatures up to 40 °C. No value is given where K_2 would be less than K_1 .

[illegible]

TABLEAU XX

Transformateurs OFAF et OFWF : t = 1 h

Régimes admissibles et vieillissement journalier correspondant (en « jours normaux »)

Pour déterminer si un régime de charge journalier défini par K_1 et K_2 est admissible et pour évaluer le vieillissement journalier qu'il entraîne, il faut opérer comme suit :

Température ambiante	40 °C	30 °C	20 °C	10 °C	0 °C
Symboles utilisés dans le tableau ci-dessous pour indiquer que le régime n'est pas admissible si la température ambiante dépasse la valeur indiquée	Voir ci-dessous	A	B	C	D
<i>Vieillessement journalier :</i> Multiplier la valeur figurant dans la case appropriée du tableau ci-dessous, par le coefficient ci-contre, puis arrondir la valeur obtenue	10	3,2	1	0,32	0,1

Les cases marquées + correspondent à des régimes inadmissibles même en ambiance 0 °C. Quand la case considérée ne contient ni le signe + ni une lettre, l'échauffement du point chaud ne dépassera pas 100 deg C et le régime est admissible même pour une température ambiante atteignant 40 °C. Aucune valeur n'est donnée au cas où K_2 serait inférieur à K_1 .

[illegible]