

**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

Withdrawn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

$\theta_a$  = 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

$\theta_a$  = 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 :

- $\pm 2\%$  entre 2,5 h et 3,5 h pour ONAN et ONAF ;
- $\pm 2\%$  entre 1,5 h et 3 h pour OFAF et OFWF.

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

Les tableaux VI à X, pages 23 à 27, (correspondant chacun à une valeur déterminée de  $\theta_a$ ) 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 :

$\pm 2\%$  between 2.5 h and 3.5 h for ONAN and ONAF ;

$\pm 2\%$  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  $\theta_a$ ) are for ONAN and ONAF cooling.

Tables VI to X, pages 23 to 27, (each for a specific value of  $\theta_a$ ) 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.)

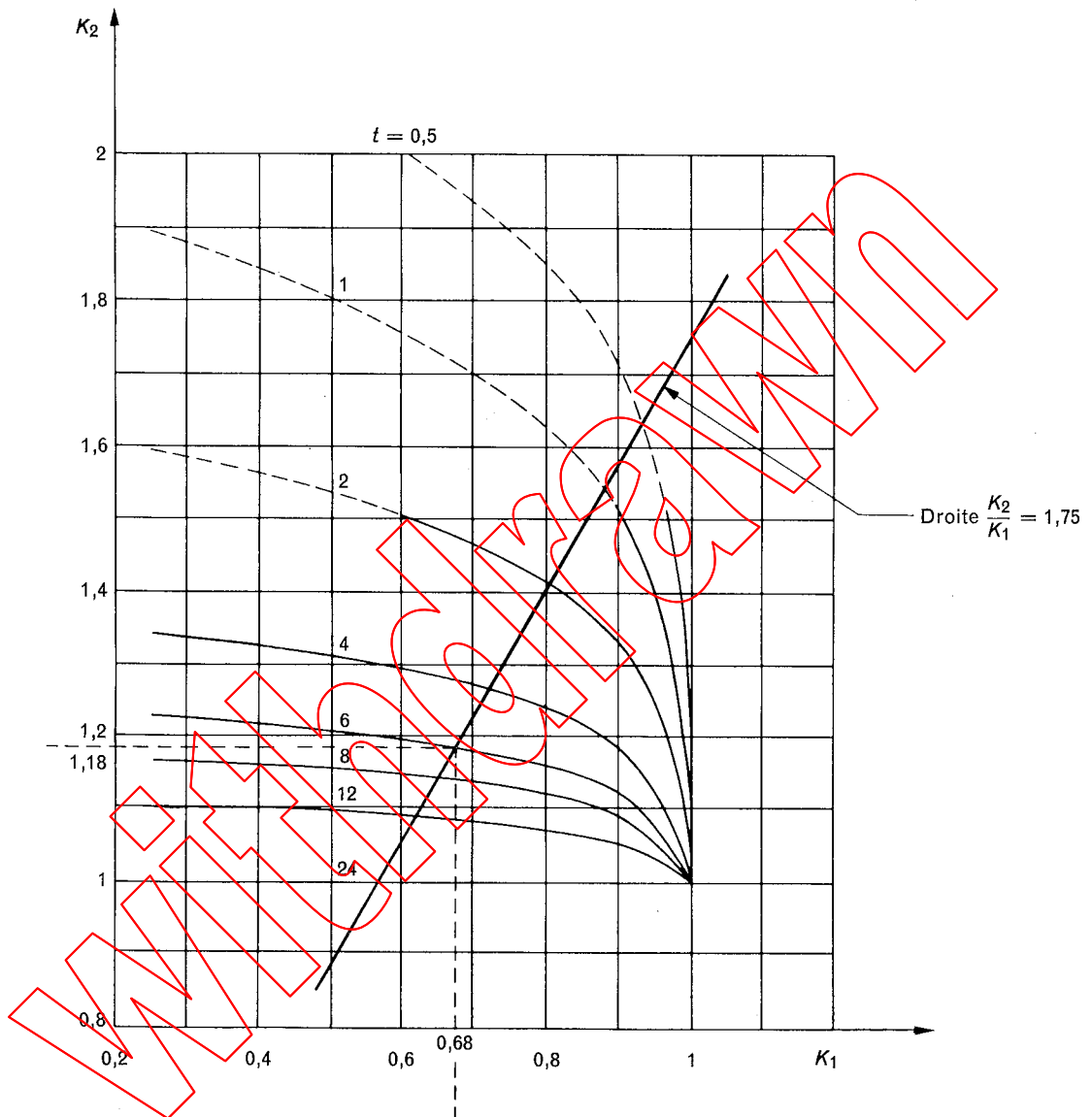


FIG. 2. — Illustration de l'exemple 2.

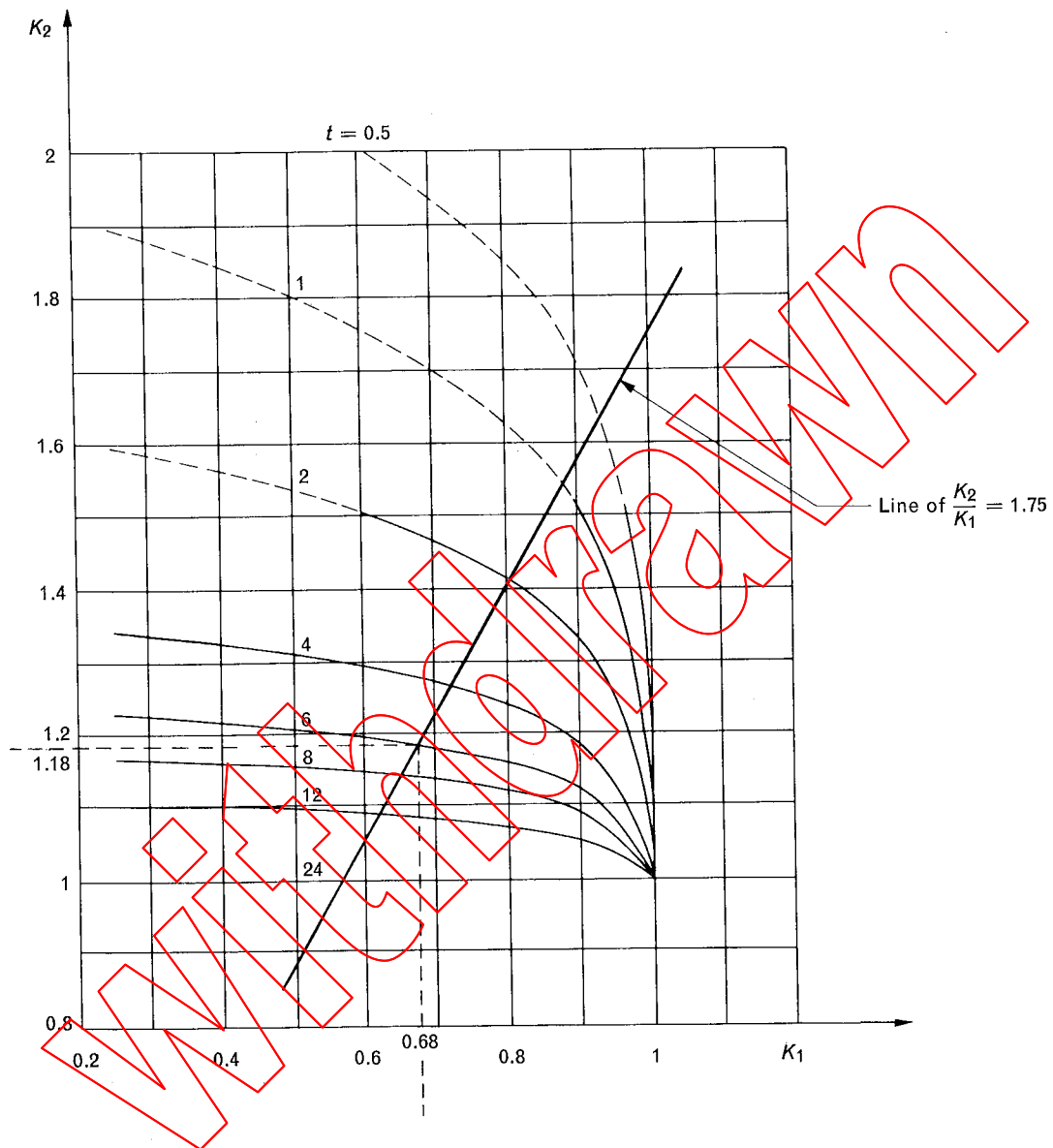


FIG. 2. — Illustration of example 2.

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         |

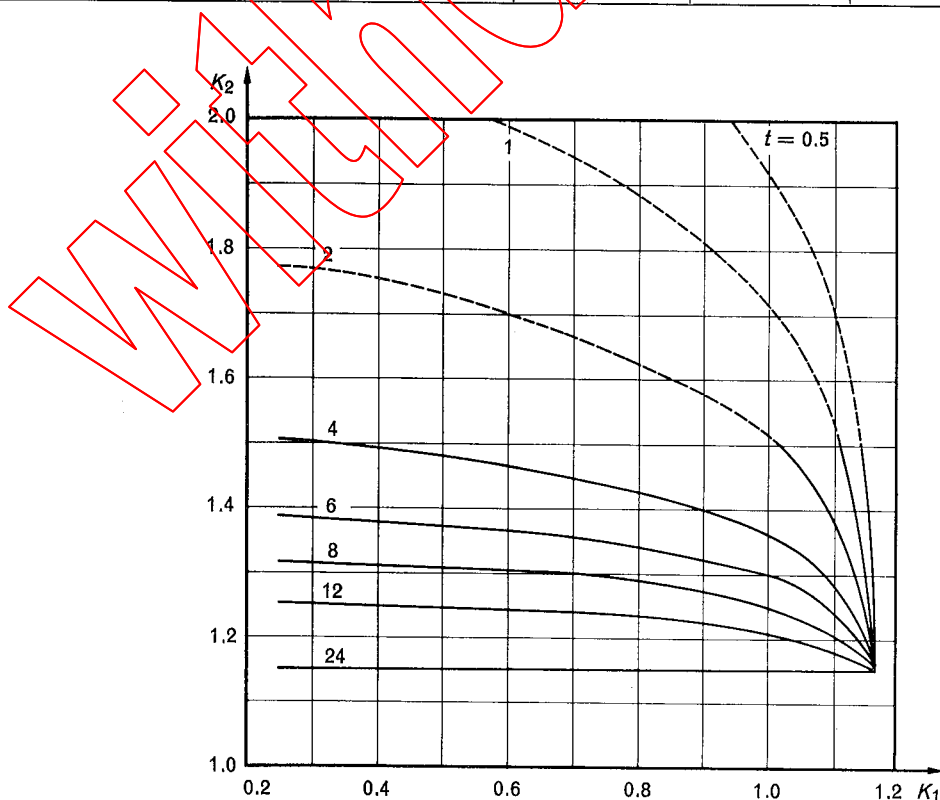


TABLEAU II

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         |

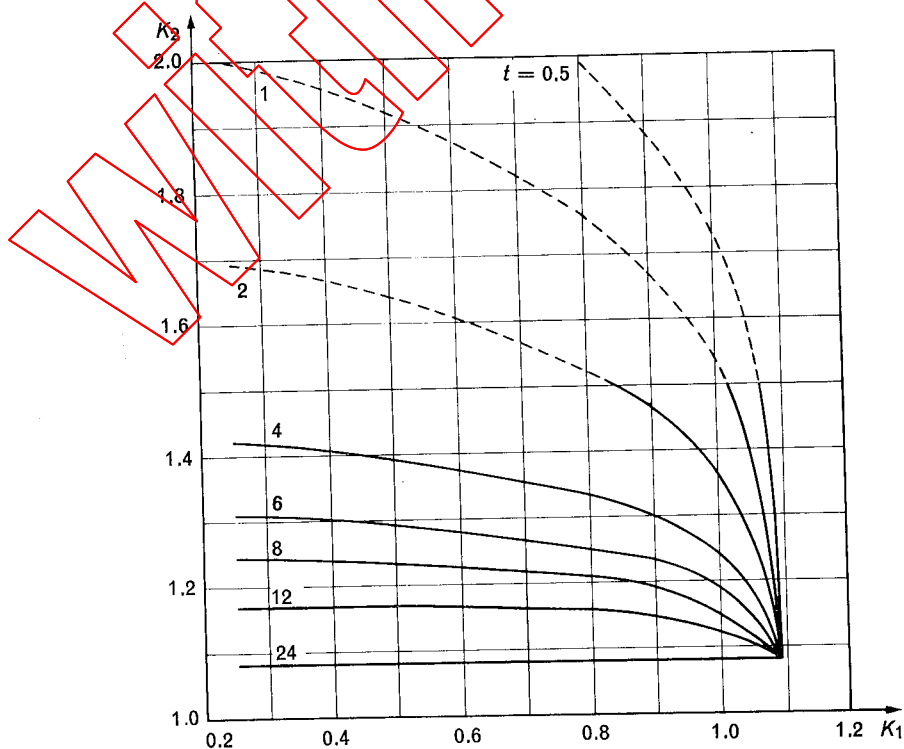


TABLEAU III

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         |

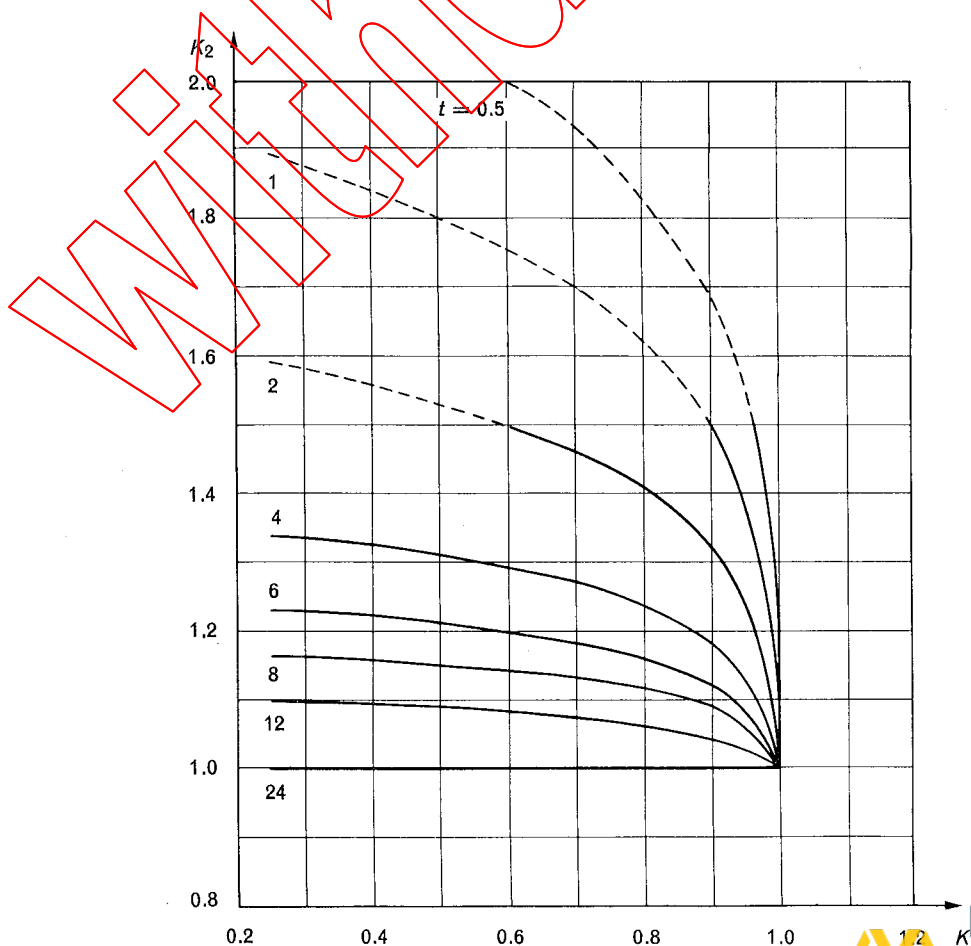


TABLEAU IV

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         | —            |

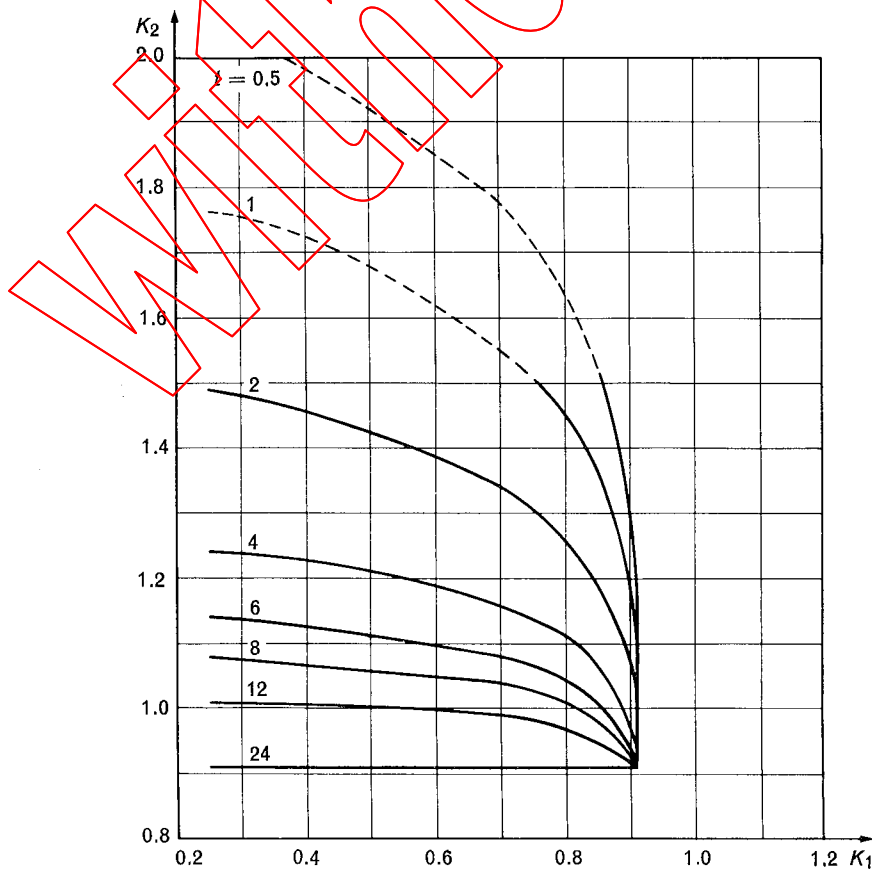


TABLEAU V

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         | —            | —            |

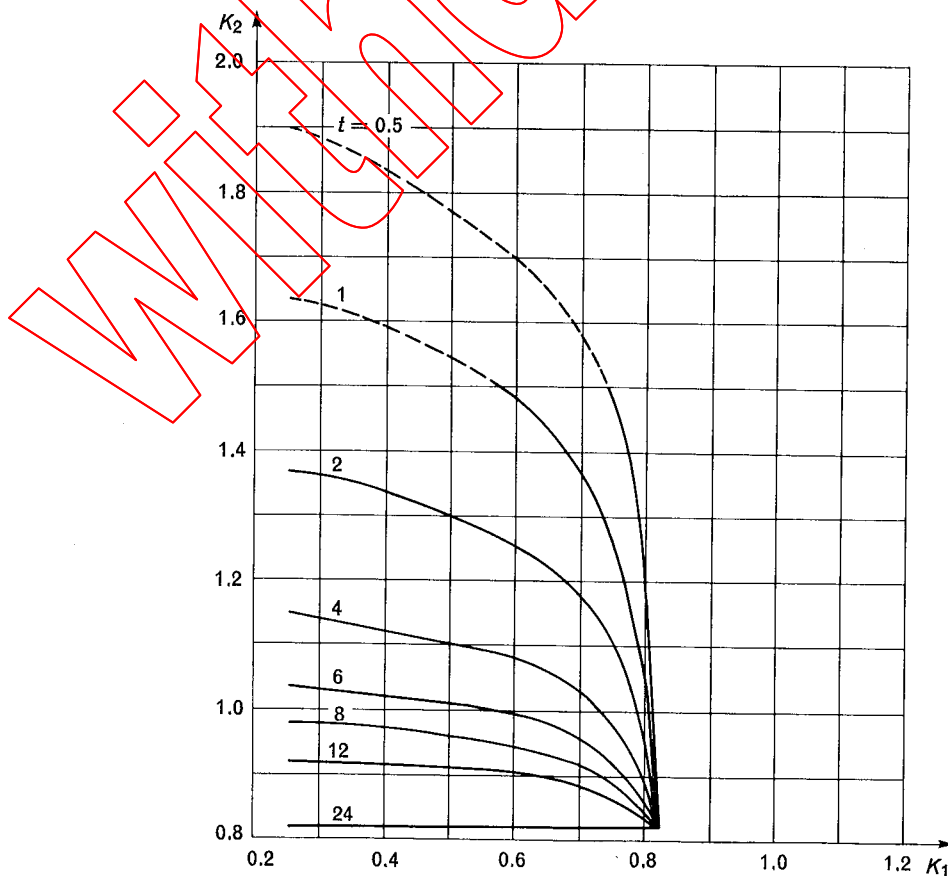


TABLEAU VI

*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         |

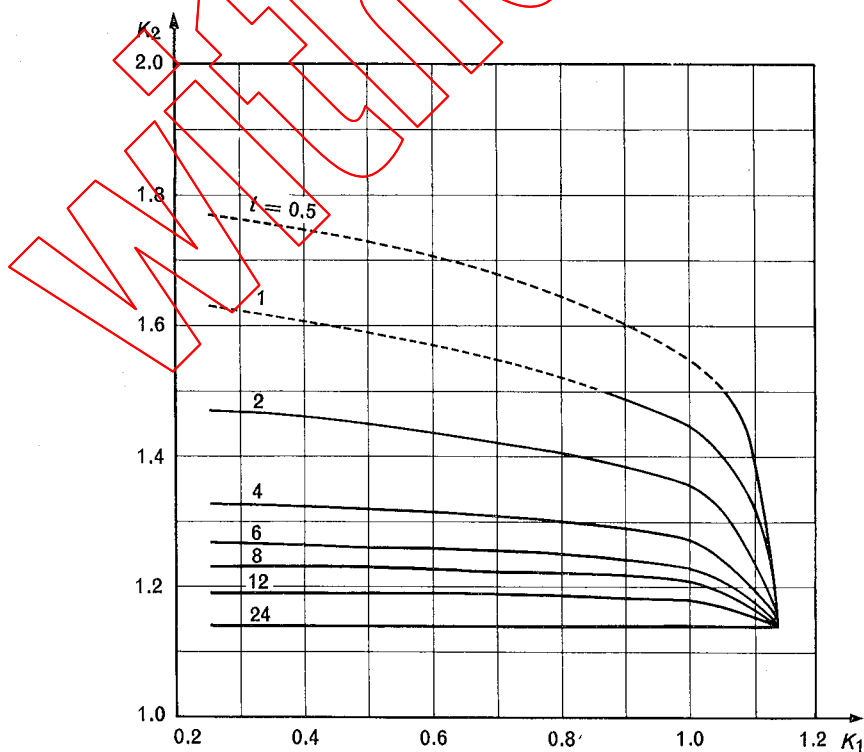


TABLEAU VII

*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         |

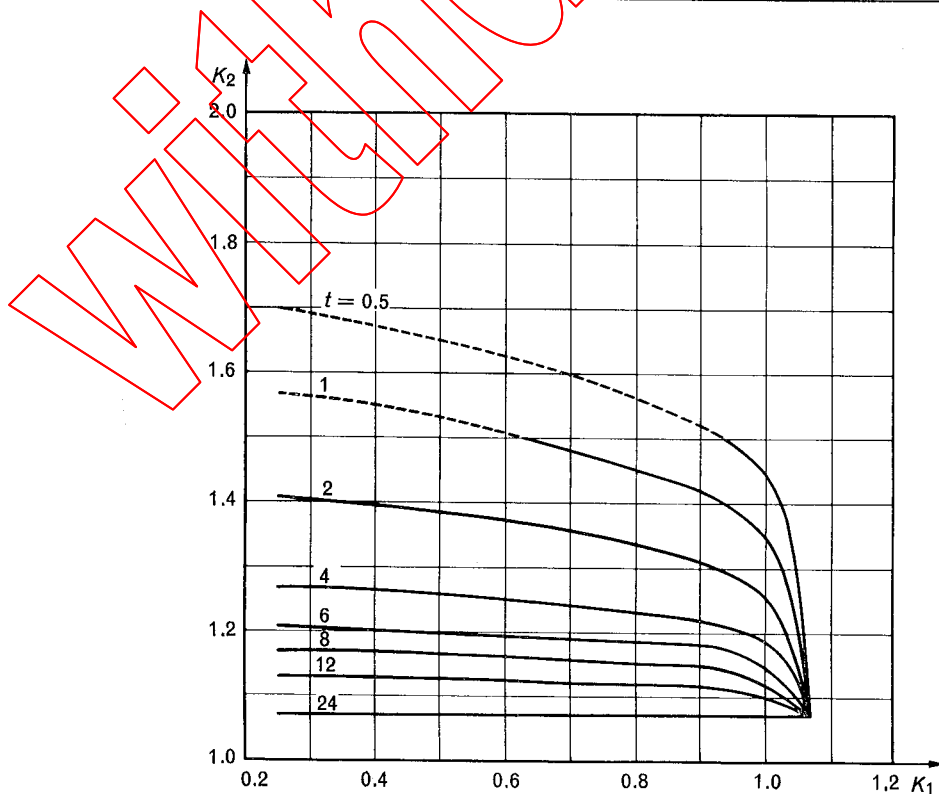


TABLEAU VIII

*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         |

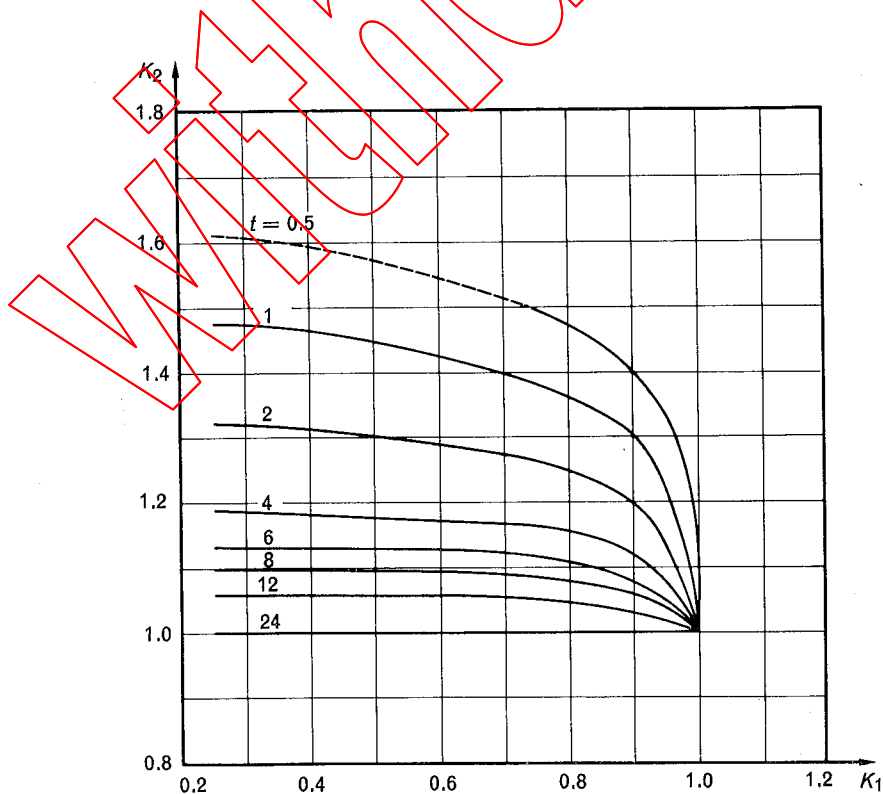


TABLEAU IX

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         | —            |

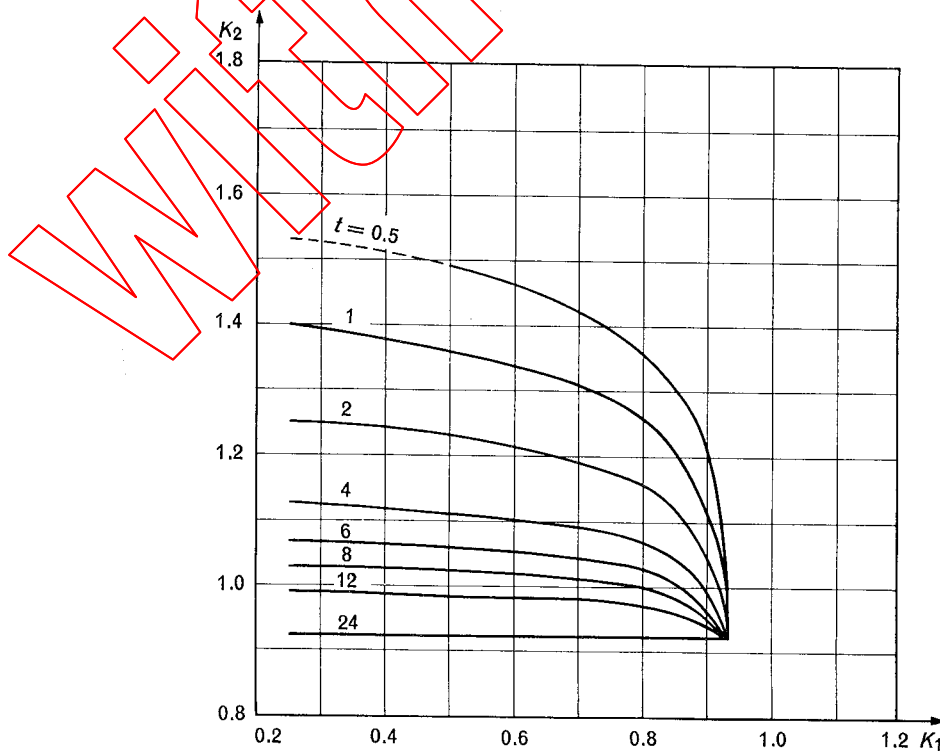


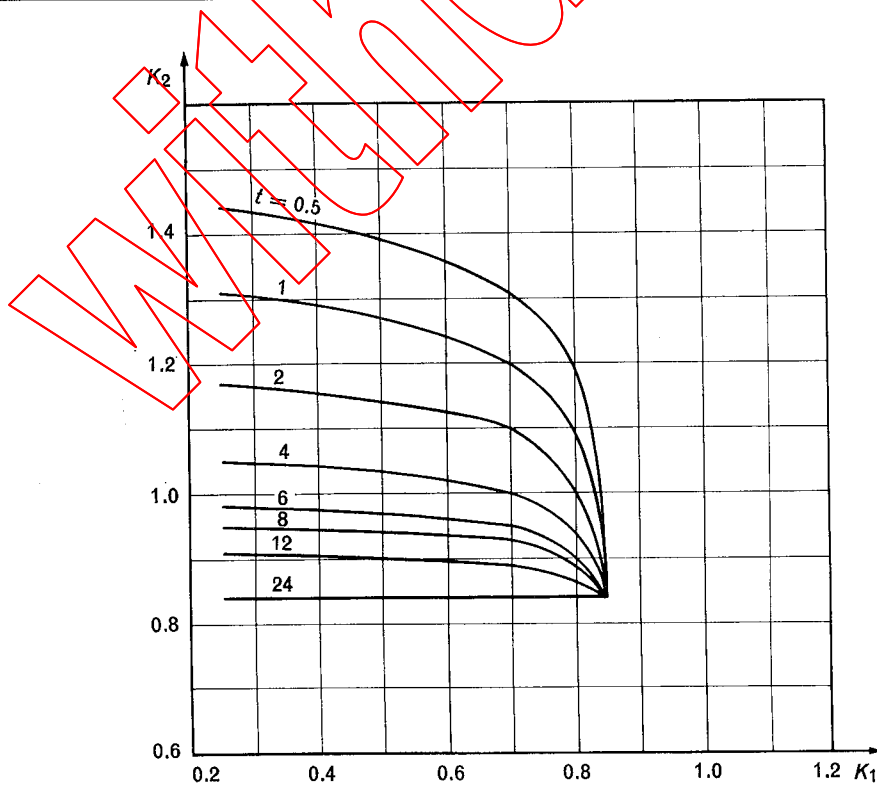
TABLEAU X

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 :

- $\theta$  = 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
- $\tau$  = constante de temps thermique huile - air à charge nominale, en heures

#### *Exemples*

##### *Températures, en degrés Celsius*

- $\theta_a$  = température ambiante (milieu réfrigérant)
- $\theta_b$  = température de l'huile au sommet =  $\theta_a + \Delta\theta_b$
- $\theta_c$  = 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 :

- $\theta$  = 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  
 $\tau$  = oil - air thermal time constant at rated load, in hours

#### *Examples*

##### *Temperatures, in Celsius degrees*

- $\theta_a$  = ambient (cooling medium) temperature  
 $\theta_b$  = top oil temperature =  $\theta_a + \Delta\theta_b$   
 $\theta_c$  = 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  $1,1 \Delta\theta_{wo}$ .

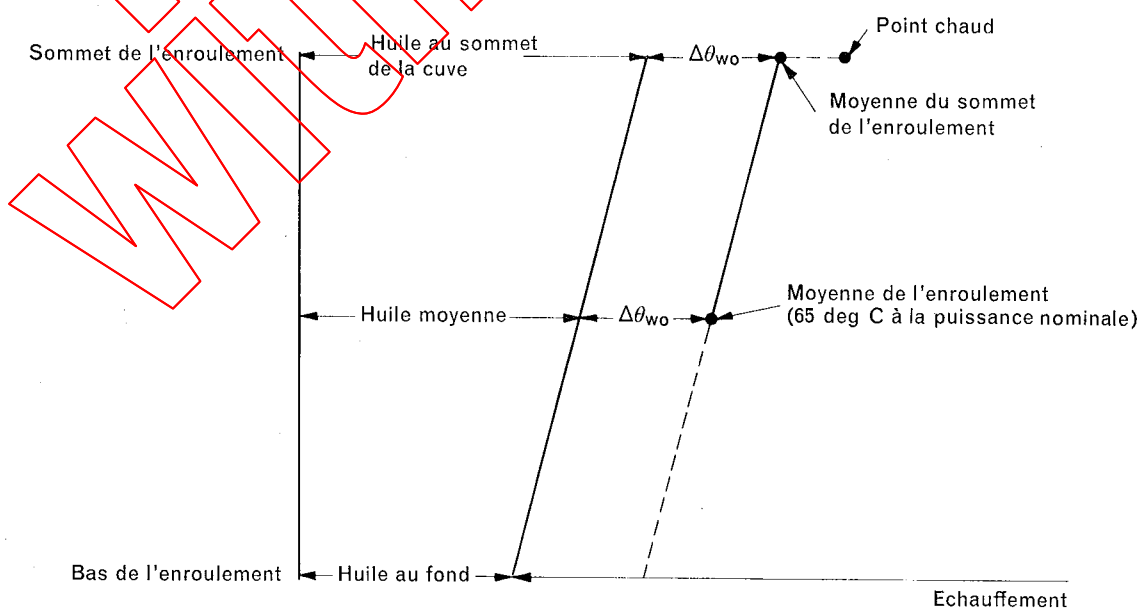


FIG. 3. — Diagramme thermique.