

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
606**

Première édition
First edition
1978

**Guide d'application pour les transformateurs
de puissance**

Application guide for power transformers



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 606: 1978

Validité de la présente publication

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

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

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

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

Terminologie

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

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

Symboles graphiques et littéraux

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

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

et pour les appareils électromédicaux,

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

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

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

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

Validity of this publication

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

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

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

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

Terminology

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

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

Graphical and letter symbols

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

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

and for medical electrical equipment,

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

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

IEC publications prepared by the same technical committee

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

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC
606

Première édition
First edition
1978

**Guide d'application pour les transformateurs
de puissance**

Application guide for power transformers

© CEI 1978 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

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

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

U

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Articles	
1. Domaine d'application et objet	6
2. Spécification des grandeurs de prise	6
3. Choix du mode de connexion des enroulements pour les transformateurs pour réseaux triphasés	18
4. Marche en parallèle de transformateurs dans des réseaux triphasés	24
5. Possibilité de charge du point neutre des enroulements connectés en étoile ou en zigzag	28
6. Détermination de la variation de la tension pour une condition de charge spécifiée	32
ANNEXE A — Exemples de la méthode exposée au paragraphe 2.4 fondée sur le courant maximal et la tension maximale de chaque enroulement	40

Withdrawing

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
1. Scope and object	7
2. Specification of tapping quantities	7
3. Selection of winding connections for transformers for three-phase systems	19
4. Parallel operation of transformers in three-phase systems	25
5. Loading capability of the neutral point of windings in star or zigzag connection	29
6. Calculation of voltage drop (or rise) for a specified load condition	33
APPENDIX A — Examples of the method shown in Sub-clause 2.4, based on the maximum current and maximum voltage of each winding	41

Withdrawing

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

GUIDE D'APPLICATION POUR LES TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE

PRÉAMBULE

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

PRÉFACE

Le présent guide d'application a été établi par le Comité d'Etudes N° 14 de la CEI: transformateurs de puissance.

Un premier projet de l'article 2, relatif à la spécification des grandeurs de prise, fut discuté lors de la réunion tenue à Athènes en 1972, et un second projet à Bucarest en 1974. A la suite de cette dernière réunion, un projet, document 14(Bureau Central)36, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en août 1975.

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

Afrique du Sud (République d')	Finlande	Roumanie
Allemagne	France	Royaume-Uni
Australie	Hongrie	Suède
Autriche	Israël	Suisse
Belgique	Italie	Tchécoslovaquie
Canada	Japon	Turquie
Danemark	Norvège	Union des Républiques
Egypte	Pays-Bas	Socialistes Soviétiques
Espagne	Pologne	Yougoslavie

Un premier projet des autres articles fut discuté lors de la réunion tenue à Bucarest en 1974, d'où résulta un projet, document 14(Bureau Central)38, qui fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en juin 1976.

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

Afrique du Sud (République d')	Egypte	Pologne
Allemagne	Espagne	Portugal
Argentine	Etats-Unis d'Amérique	Royaume-Uni
Australie	Finlande	Suède
Autriche	France	Suisse
Belgique	Hongrie	Tchécoslovaquie
Canada	Italie	Turquie
Chine	Norvège	Yougoslavie
Danemark	Pays-Bas	

Autres publications de la CEI citées dans le présent guide d'application:

- Publications n°s 76: Transformateurs de puissance.
76-1: Première partie: Généralités.
76-4: Quatrième partie: Prises et connexions.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

APPLICATION GUIDE FOR POWER 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 international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

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

A first draft of Clause 2, relating to the specification of tapping quantities, was discussed at the meeting held in Athens in 1972 and a second draft in Bucharest in 1974. As a result of this latter meeting a draft, Document 14(Central Office)36, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in August 1975.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia
Austria
Belgium
Canada
Czechoslovakia
Denmark
Egypt
Finland
France

Germany
Hungary
Israel
Italy
Japan
Netherlands
Norway
Poland
Romania

South Africa (Republic of)
Spain
Sweden
Switzerland
Turkey
United Kingdom
Union of Soviet
Socialist Republics
Yugoslavia

A first draft of the other clauses was discussed at the meeting held in Bucharest in 1974, as a result of which a draft Document 14(Central Office)38, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in June 1976.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Argentina
Australia
Austria
Belgium
Canada
China
Czechoslovakia
Denmark
Egypt

Finland
France
Germany
Hungary
Italy
Netherlands
Norway
Poland
Portugal

South Africa (Republic of)
Spain
Sweden
Switzerland
Turkey
United Kingdom
United States of America
Yugoslavia

Other IEC publications quoted in this application guide:

- Publication Nos. 76: Power Transformers.
76-1: Part 1: General.
76-4: Part 4: Tappings and Connections.

GUIDE D'APPLICATION POUR LES TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE

1. Domaine d'application et objet

1.1 *Domaine d'application*

Le présent guide d'application s'applique aux transformateurs répondant aux spécifications de la Publication 76 de la CEI: Transformateurs de puissance (1976).

1.2 *Objet*

Le présent guide d'application a pour but de constituer une aide pour la détermination et le choix des caractéristiques des transformateurs. Les recommandations qui y sont données n'ont pas de caractère d'obligation et sont seulement destinées à guider l'acheteur au moment de l'achat et, plus tard, lors de l'utilisation du transformateur.

2. Spécifications des grandeurs de prise

2.1 *Introduction*

2.1.1 *Objet du présent article*

L'objet principal de cet article est d'aider l'acheteur à déterminer, à partir des conditions de fonctionnement en charge du transformateur, les grandeurs de prise à spécifier, conformément à la section un de la Publication 76-4 de la CEI, Quatrième partie: Prises et connexions.

Etant donné que les grandeurs de prise servent de base aux garanties du constructeur et aux essais, on devra éviter des spécifications trop complexes car elles rendraient trop difficile le contrôle des garanties.

Le transformateur qui satisfait à ces spécifications doit être capable des fonctionnements en charge prévus sans surdimensionnement inutile (voir note). Parmi les spécifications possibles satisfaisant à cette condition, on doit chercher les plus simples en s'appuyant sur les solutions présentées dans la Publication 76-4 de la CEI, dans les articles 3, 4 et 5 relatifs au « réglage à flux constant », au « réglage à flux variable » et au « réglage combiné ».

Note. — Pour des raisons de normalisation et de simplification, les valeurs théoriques de puissance nominale, de tension, etc., calculées à partir des conditions de fonctionnement en charge supposées peuvent être ajustées au moment du choix final des caractéristiques de transformateur. De telles considérations, qui peuvent conduire à un transformateur « surdimensionné », sont généralement négligées dans ce guide.

2.1.2 *Domaine d'application*

Dans ce guide, comme dans la Publication 76-4 de la CEI, on ne considère que le cas, le plus fréquent en pratique, des transformateurs dont un enroulement seulement est muni de prises.

Note. — Pour simplifier les démonstrations, on considère seulement les transformateurs à deux enroulements (auxquels peut s'ajouter un enroulement de stabilisation ou auxiliaire).

APPLICATION GUIDE FOR POWER TRANSFORMERS

1. Scope and object

1.1 Scope

This application guide applies to power transformers complying with IEC Publication 76, Power Transformers (1976).

1.2 Object

This application guide is intended to assist in the determination and selection of transformer characteristics. The recommendations given herein are not mandatory, and are solely for the guidance of purchasers at the time of purchase and during subsequent usage.

2. Specification of tapping quantities

2.1 Introduction

2.1.1 Purpose of this clause

The main purpose of this clause is to help the purchaser to determine from the on-load operating conditions of the transformer the tapping quantities to be specified in accordance with Section One of Publication 76-4, Part 4: Tappings and Connections.

Since the tapping quantities are used as a basis for the manufacturer's guarantees and for tests, they should not be unduly complex, since that would make the assessment of guarantees too difficult.

A transformer complying with this specification should be capable of operating under the expected on-load conditions without being needlessly oversized (see note). Amongst all the solutions meeting this condition, the simplest ones should be sought, taking into account the information given in IEC Publication 76-4, in Clauses 3, 4 and 5 relating to "constant flux voltage variation", "variable flux voltage variation" and "combined voltage variation".

Note. — For the purposes of standardization and simplification, the theoretically calculated data (rated power, voltage data, etc.) resulting from assumed on-load operating conditions may be adjusted when deciding the final transformer data. Such considerations, which can result in an "oversized" transformer, are mostly disregarded in this guide.

2.1.2 Field of application

In this guide, as in IEC Publication 76-4, the only case considered is the most common, of a transformer having only one tapped winding.

Note. — To simplify demonstration, consideration is limited to two-winding transformers (to which can be added a stabilizing or auxiliary winding).

2.1.3 Abréviations utilisées dans le présent article

Pour abréger le texte et les figures, les abréviations suivantes sont utilisées pour certaines grandeurs qui apparaissent souvent dans le guide (l'indice A désignant l'enroulement à prises et l'indice B l'enroulement sans prises):

U_A = tension de prise de l'enroulement à prises

I_A = courant de prise de l'enroulement à prises

U_B = tension de prise de l'enroulement sans prises

I_B = courant de prise de l'enroulement sans prises

K_A = facteur de prise (voir définition au paragraphe 3.5.1.2 de la Publication 76-1 de la CEI: Première partie: Généralités)

n = rapport de transformation

n_u = rapport de transformation sur la prise à tensions maximales

n_i = rapport de transformation sur la prise à courants maximaux

n_p = rapport de transformation sur la prise principale (rapport de transformation nominal)

2.2 Premier stade de la détermination des régimes de prise (passage des tensions en charge à des « tensions à vide ») — Calcul des rapports de transformation

Pour déterminer, à partir des grandeurs en charge, les grandeurs de prise à spécifier et, particulièrement, les tensions de prise (voir définition au paragraphe 3.5.3.3 de la Publication 76-1 de la CEI), il sera nécessaire de remplacer les tensions en charge des divers enroulements par des tensions à vide, en procédant aux corrections de tension appropriées.

On calcule d'abord la chute de tension (ou l'élévation de tension), soit ΔU^* compte tenu des informations suivantes:

- valeur de la charge en MVA et valeurs du facteur de puissance $\cos \varphi$ et de $\sin \varphi$;
- sens de circulation de l'énergie;
- plage de variation de la haute tension (H.T.);
- plage de variation de la basse tension (B.T.).

Les corrections de tension se font alors en multipliant la tension en charge par $\frac{100}{100 - \Delta U}$ où ΔU est exprimé en pour-cent.

Des « tensions à vide » ainsi calculées se déduisent immédiatement les rapports de transformation et en particulier les valeurs extrêmes de ceux-ci.

Note. — Le calcul de la chute de tension (ou élévation de tension) peut être fondé sur des valeurs approximatives d'impédance. Un calcul plus précis peut être fait quand les valeurs d'impédance sont mieux connues, mais cela n'est pas souvent nécessaire.

2.3 Choix de l'enroulement à prises

Les prises seront placées de préférence, pour des raisons d'ordre technique:

- a) sur l'enroulement H.T. plutôt que sur l'enroulement B.T., surtout si le rapport de transformation est élevé;
- b) sur un enroulement en étoile plutôt que sur un enroulement en triangle;
- c) sur l'enroulement dont la tension de prise varie le plus. Mais ce facteur est moins important que les facteurs indiqués aux points a) et b).

* Pour ce calcul, voir l'article 6.

2.1.3 Abbreviations used in this clause

To shorten the text and the figures, the following abbreviations are used for certain quantities which often appear (sub-script A refers to the tapped winding and sub-script B to the untapped winding):

U_A = tapping voltage of the tapped winding

I_A = tapping current of the tapped winding

U_B = tapping voltage of the untapped winding

I_B = tapping current of the untapped winding

K_A = tapping factor (see definition in Sub-clause 3.5.1.2 of IEC Publication 76-1, Part 1: General)

n = voltage ratio

n_u = voltage ratio on the maximum voltage tapping

n_i = voltage ratio on the maximum current tapping

n_p = voltage ratio on the principal tapping (rated voltage ratio)

2.2 First stage of determination of tapping duties (converting from on-load voltages to "no-load" voltages). Calculation of voltage ratios

To determine from on-load quantities the tapping quantities to be specified and particularly the tapping voltages (see definition in Sub-clause 3.5.3.3 of IEC Publication 76-1) it will be necessary to replace the on-load voltages of the various windings by no-load voltages by making suitable voltage corrections.

First of all, voltage drop (or voltage rise) ΔU is calculated *, taking into account the following information:

- load in MVA, power factor $\cos \varphi$ and $\sin \varphi$;
- direction of the power flow;
- variation range of the high voltage (H.V.);
- variation range of the low voltage (L.V.).

Voltage corrections are then made by multiplying the on-load voltage by $\frac{100}{100 - \Delta U}$ where ΔU is expressed in percentage.

The voltage ratios and particularly their extreme values are then obtained from these calculated "no-load voltages".

Note. — The voltage drop or rise calculations can be based on approximate impedance values. More accurate calculations can be made when the final impedance values are known, but this is not often necessary.

2.3 Choice of the tapped winding

For technical reasons it is usually preferable for tappings to be located:

- a) on the high-voltage winding rather than on the low-voltage winding, particularly if the voltage ratio is high;
- b) on a star-connected winding rather than on a delta-connected winding;
- c) on the winding of which the tapping voltage varies the most. This factor is less important than the factors mentioned in Items a) and b).

* For this calculation, see Clause 6.

2.4 Détermination des grandeurs de prise d'un transformateur à enroulements séparés. Méthode des six paramètres

Dans le présent paragraphe ne sont considérés que les transformateurs à enroulements séparés, les autotransformateurs étant considérés au paragraphe 2.5.

2.4.1 Généralités

Le résultat du premier stade du calcul conduira généralement à plusieurs régimes de prise par prise, mais généralement une telle complication n'est pas justifiée en pratique et, en conséquence, n'est pas prise en considération dans ce guide. La simplification consistant à utiliser un seul régime de prise par prise peut conduire à un léger surdimensionnement du transformateur, par rapport à un appareil qui satisferait seulement et exactement aux conditions de charge prévues. Mais, comme en pratique ces conditions de charges prévues ne peuvent être que des approximations, on ne devra utiliser plus d'un régime de prise par prise que dans des cas exceptionnels.

Une simplification supplémentaire consiste à utiliser des courants de prise et des tensions de prise qui suivent les lois simples de variation, en fonction du facteur de prise, qui sont considérées dans les articles 3, 4 et 5 et illustrées dans les figures 1 à 3 de la Publication 76-4 de la CEI.

Ces simplifications sont utilisées dans la méthode décrite dans les paragraphes 2.4.2 à 2.4.4.

Au préalable, quelques explications sont données ci-après sur la « prise à tensions maximales » du réglage combiné et sur « la prise à courants maximaux » :

a) « Prise à tensions maximales » dans le cas de réglage combiné

Dans les transformateurs employant le « réglage combiné », il y a une « prise à tensions maximales » au-dessus de laquelle la tension de prise de l'enroulement à prises reste constante. Dans l'enroulement sans prise, la tension de prise est constante jusqu'à cette prise et décroît pour les prises plus hautes.

L'introduction d'une « prise à tensions maximales » évite de spécifier des tensions de prise trop élevées et irréalistes qui, sans cela, pourraient même dépasser considérablement la « tension la plus élevée pour le matériel ».

Cette limitation des tensions de certaines prises signifie aussi, sur ces prises, une limitation du courant de court-circuit maximal calculé, pour lequel la tenue mécanique du transformateur doit être garantie.

b) « Prise à courants maximaux » et échauffements

Les paragraphes 3.2b), 4.2b) et 5.2b) de la section un de la Publication 76-4 de la CEI, et notamment les figures 1b, 2b, 3b qui les illustrent, présentent des lois simples de variation de courants de prise en fonction du facteur de prise qui sont fondées sur une « prise à courants maximaux ». Pour cette prise, les courants de prise des deux enroulements sont simultanément maximaux. De chaque côté de la prise, l'un des courants de prise reste constant et maximal tandis que l'autre décroît et il en résulte, en pratique, que les pertes totales et l'échauffement des enroulements décroissent de chaque côté de cette prise. Donc, cette prise est aussi la prise à échauffements maximaux.

2.4.2 Les six paramètres d'un transformateur à deux enroulements

Seuls les transformateurs à deux enroulements sont considérés (voir le paragraphe 2.1.2).

Dans la méthode décrite ci-après, les données utilisées pour la détermination des grandeurs de prise se limitent aux six paramètres suivants :

a) les rapports de transformation extrêmes : $n_{\min}$ et $n_{\max}$;

2.4 Determination of the tapping quantities of a separate winding transformer—The six parameter method

In this sub-clause only separate winding transformers are considered, auto-transformers being considered in Sub-clause 2.5.

2.4.1 General

The result of the first stage of the calculation will generally lead to several tapping duties per tapping, but generally such a complication is not justified in practice and is therefore disregarded in this guide. The simplification of using only one tapping duty per tapping may result in a slight oversizing of the transformer compared with one which fulfils only and exactly the assumed loading conditions. As in practice these assumed loading conditions can be only approximations, only in exceptional cases should more than one tapping duty per tapping be used.

A further simplification is to use tapping currents and tapping voltages following the simple laws of variation, as a function of the tapping factor, which are considered in Clauses 3, 4 and 5 and illustrated in Figures 1 to 3 of IEC Publication 76-4.

These simplifications are used in the method described in Sub-clauses 2.4.2 to 2.4.4.

As a preliminary, some explanations follow relating to the “maximum voltage tapping” of the combined voltage variation and to the “maximum current tapping”;

a) “Maximum voltage tapping” in the case of “combined voltage variation”

In transformers employing “combined voltage variation” there is a maximum voltage tapping, above which the tapping voltages of the tapped winding remain constant. In the untapped winding, “tapping voltages” are constant up to this tapping and decrease for higher tapplings.

The introduction of a “maximum voltage tapping” eliminates the specification of unrealistically high tapping voltages which may otherwise even considerably exceed the “highest voltage for equipment”.

This limitation of the tapping voltages of certain tapplings also means, on these tapplings, a limitation of the calculated maximum short-circuit current for which the mechanical withstand ability of the transformer has to be guaranteed.

b) “Maximum current tapping” and temperature rise

Sub-clauses 3.2b), 4.2b) and 5.2b) of Section One in IEC Publication 76-4 and particularly Figures 1b, 2b, 3b which illustrate them, present simple laws of the variation of tapping currents as a function of the tapping factor, based upon a “maximum current tapping”. For this tapping, the tapping currents of the two windings are simultaneously a maximum. On each side of this tapping one of the tapping currents remains constant and maximum while the other decreases so that, in practice, it follows that the total losses and the temperature rise of the windings decrease on either side of this tapping. Therefore, this maximum current tapping is also the maximum temperature-rise tapping.

2.4.2 The six parameters of a two-winding transformer

Only two-winding transformers are considered (see Sub-clause 2.1.2).

In the following method, the data used for the determination of the tapping quantities are limited to the following six parameters:

a) the extreme voltage ratios: $n_{\min}$ and $n_{\max}$;

- b) la tension maximale de chaque enroulement: $(U_{HT})_{\max}$ et $(U_{BT})_{\max}$;
- c) le courant maximal de chaque enroulement: $(I_{HT})_{\max}$ et $(I_{BT})_{\max}$.

Les valeurs numériques de ces six paramètres sont connues une fois achevé le premier stade du calcul (voir le paragraphe 2.2).

2.4.3 Processus de calcul pour déterminer les grandeurs de prise à partir de ces six paramètres

Les valeurs numériques des six paramètres servent à établir un tableau des grandeurs de prise en fonction du rapport de transformation n et du facteur de prise K_A , tel que le tableau I ci-après. Le processus des calculs à effectuer est le suivant:

- a) Donner dans la première colonne les quatre rapports de transformation ci-après:

$$n_{\min}, n_i = (I_{BT})_{\max} / (I_{HT})_{\max}, n_u = (U_{HT})_{\max} / (U_{BT})_{\max}, n_{\max}$$

Les écrire dans leur ordre numérique (le tableau I utilise un ordre croissant depuis le haut; il suppose que n_u est supérieur à n_i , mais dans quelques cas, n_i peut être supérieur ou égal à n_u).

Préparer aussi une ligne pour la prise principale qui, pour les raisons rappelées au paragraphe 2.4.3d) sera placée entre les lignes $n = n_i$ et $n = n_u$. Ecrire 100 comme valeur de K_A , la valeur de n , à savoir n_p , étant encore indéterminée.

- b) Introduire dans le tableau les valeurs maximales de tension et de courant pour chaque enroulement comme indiqué dans le tableau I:

— $(U_{BT})_{\max}$ de $n_{\min}$ à n_u et $(U_{HT})_{\max}$ de n_u à $n_{\max}$;

— $(I_{HT})_{\max}$ de $n_{\min}$ à n_i et $(I_{BT})_{\max}$ de n_i à $n_{\max}$.

- c) Remplir les cases de tension ou courant marquées (2) dans le tableau. La valeur appropriée de courant ou de tension s'obtient à partir de la valeur du courant ou de la tension de l'autre enroulement et de la valeur du rapport de transformation n .

La puissance de prise (3) est alors calculée.

- d) Choisir l'enroulement à prises et la prise principale. Celle-ci, en vertu des définitions de la prise principale et des prises à pleine puissance, est une prise à pleine puissance, c'est-à-dire une des prises qui s'étendent de la « prise à tensions maximales » jusqu'à la « prise à courants maximaux ».

La solution la plus simple est de prendre la prise moyenne, si c'est une prise à pleine puissance ou, sinon, la prise à pleine puissance la plus voisine de la prise moyenne.

- e) Le facteur de prise K_A peut alors être calculé:

$K_A = n/n_p$ si les prises sont sur l'enroulement H.T.;

$K_A = n_p/n$ si les prises sont sur l'enroulement B.T.

De plus, n_p étant connu, la ligne « prise principale » peut être complétée. Cette ligne donne les valeurs nominales des tensions, des courants et de la puissance.

Le tableau est ainsi complet.

Note. — La méthode précédente conduit, en règle générale, à un réglage de tension combiné. Toutefois, si n_u est égal à une valeur extrême de n , la catégorie de réglage est le réglage à flux constant ou le « réglage à flux variable », selon que la prise à tensions maximales est la prise additive extrême ou la prise soustractive extrême. De plus, si la prise à tensions maximales, sans être la prise additive extrême, en est suffisamment proche, le réglage combiné peut être changé en réglage à flux constant, afin de simplifier encore plus la spécification des grandeurs de prise (voir le paragraphe 2.7).

- b) maximum voltage of each winding: $(U_{HV})_{\max}$ and $(U_{LV})_{\max}$;
- c) maximum current of each winding: $(I_{HV})_{\max}$ and $(I_{LV})_{\max}$.

The numerical values of these six parameters are known when the first stage of the calculation has been completed (see Sub-clause 2.2).

2.4.3 Calculation procedure for the tapping quantities, based on the six parameters

The numerical values of the six parameters are used for preparing a table of tapping quantities as a function of the voltage ratio n and of the tapping factor K_A such as in Table I. The calculation procedure is as follows:

- a) Give in the first column the four voltage ratios:

$$n_{\min}, n_i = (I_{LV})_{\max} / (I_{HV})_{\max}, n_u = (U_{HV})_{\max} / (U_{LV})_{\max} \text{ and } n_{\max}$$

Enter them in numerical order (Table I assumes increasing order from the top and n_u is supposed to be higher than n_i but in some cases n_i can be higher than or equal to n_u).

Prepare also a line for the principal tapping which, for the reasons reiterated in Sub-clause 2.4.3d), will be placed between the lines $n = n_i$ and $n = n_u$. Write 100 as the value of K_A , the value of n , namely n_p , being still undetermined.

- b) Enter in the table the maximum voltage and current values for each winding as shown in Table I.

— $(U_{LV})_{\max}$ from $n_{\min}$ to n_u and $(U_{HV})_{\max}$ from n_u to $n_{\max}$;

— $(I_{HV})_{\max}$ from $n_{\min}$ to n_i and $(I_{LV})_{\max}$ from n_i to $n_{\max}$.

- c) Complete the table with those missing values of voltage and current marked (2) in the table. The appropriate voltage or current value is deduced from the value of voltage or current of the other winding and of the value of voltage ratio n .

The tapping power (3) is then calculated.

- d) Choose the tapped winding and the principal tapping. From the definitions of the principal tapping and of the full-power tapplings, this is one of the full-power tapplings, i.e. one of the tapplings ranging from the “maximum voltage tapping” to the “maximum current tapping”. The simplest solution is to take the mean tapping if it is a full-power tapping or, if not, the full-power tapping which is the closest to the mean tapping.

- e) The tapping factor K_A can then be calculated.

$K_A = n/n_p$ if the tapplings are on the H.V. winding;

$K_A = n_p/n$ if the tapplings are on the L.V. winding.

Furthermore, n_p being known, the line “principal tapping” can be completed. This line gives the rated values of voltages, currents and power.

The table is thus complete.

Note. — The preceding method generally leads to combined voltage variation. However, if n_u is equal to an extreme value of n , the category of voltage variation is “constant flux voltage variation” of “variable flux voltage variation”, according to whether the maximum voltage tapping is the extreme plus tapping or the extreme minus tapping. Furthermore, if the maximum voltage tapping, without being the extreme plus tapping, is close enough to it, the combined voltage variation can be changed into constant flux voltage variation in order to simplify still more the specification of the tapping quantities (see Sub-clause 2.7).

TABLEAU I

Tableau des grandeurs de prise

n (1)	K_A (%)	Tensions		Courants		Puissance	Désignation de la prise
		H.T.	B.T.	H.T.	B.T.		
$n_{\min} = \dots$	(4)	(2)	$(U_{BT})_{\max}$	$(I_{HT})_{\max}$	(2)	(3)	Prise à rapport de transformation minimal
$n_i = \dots$	(4)	(2)	$(U_{BT})_{\max}$	$(I_{HT})_{\max}$	$(I_{BT})_{\max}$	$S_{\max}$ (3)	Prise à courants maximaux
$n_p = \dots$ (5)	100	(5)	$(U_{BT})_{\max}$	(5)	$(I_{BT})_{\max}$	$S_{\max}$	Prise principale
$n_u = \dots$	(4)	$(U_{HT})_{\max}$	$(U_{BT})_{\max}$	(2)	$(I_{BT})_{\max}$	$S_{\max}$ (3)	Prise à tensions maximales
$n_{\max} = \dots$	(4)	$(U_{HT})_{\max}$	(2)	(2)	$(I_{BT})_{\max}$	(3)	Prise à rapport de transformation maximal
(1) Le tableau suppose $n_u > n_i$. (2) Case à remplir avec la valeur appropriée de tension ou de courant, déduite de la tension ou du courant de l'autre enroulement et du rapport de transformation n. (3) Puissance à déduire des valeurs de courant et tension. (4) Les facteurs de prise K_A sont calculés après le choix de l'enroulement à prises et de la prise principale. (5) Case à remplir après le choix de la prise principale, c'est-à-dire de n_p.							

f) On peut alors arrondir les différentes valeurs, en particulier la puissance nominale. Naturellement cela, ainsi que l'usage d'un nombre approprié d'échelons, affecte quelque peu les valeurs de tension et de courant. De plus, la possibilité de fonctionnement à tension surélevée peut être considérée (voir le paragraphe 2.6).

Quand les calculs précédents ont conduit à choisir une prise extrême comme prise à courants maximaux, il peut être judicieux de réexaminer ce choix comme indiqué à l'article A4 de l'annexe A.

g) Pour les besoins de la spécification, le tableau peut être abrégé, les données numériques de ce tableau pouvant être déduites des données plus concentrées ci-après, prévues dans la Publication 76-4 de la CEI (paragraphe 5.2):

- puissance nominale et tensions nominales;
- quel enroulement est l'enroulement à prises et quelle est son étendue de prises;
- nombre de positions de réglage ou valeur de l'échelon de réglage;
- quelle prise est la « prise à tensions maximales », avec les tensions de prise correspondantes;
- quelle prise est la « prise à courants maximaux ».

2.4.4 Exemples d'application de cette méthode.

Trois exemples sont donnés dans l'annexe A.

TABLE I

Table of tapping quantities

n (1)	K_A (%)	Voltages		Currents		Power	Tapping Designation
		H.V.	L.V.	H.V.	L.V.		
$n_{\min} = \dots$	(4)	(2)	$(U_{LV})_{\max}$	$(I_{HV})_{\max}$	(2)	(3)	Minimum voltage ratio tapping
$n_i = \dots$	(4)	(2)	$(U_{LV})_{\max}$	$(I_{HV})_{\max}$	$(I_{LV})_{\max}$	$S_{\max}$ (3)	Maximum current tapping
$n_p = \dots$ (5)	100	(5)	$(U_{LV})_{\max}$	(5)	$(I_{LV})_{\max}$	$S_{\max}$	Principal tapping
$n_u = \dots$	(4)	$(U_{HV})_{\max}$	$(U_{LV})_{\max}$	(2)	$(I_{LV})_{\max}$	$S_{\max}$ (3)	Maximum voltage tapping
$n_{\max} = \dots$	(4)	$(U_{HV})_{\max}$	(2)	(2)	$(I_{LV})_{\max}$	(3)	Maximum voltage ratio tapping
(1) The table assumes $n_u > n_i$. (2) To be completed with the appropriate values of voltage or current, deduced from the voltage or current of the other winding and of the voltage ratio n. (3) Power is calculated from voltage and current values. (4) After choosing the tapped winding and the principal tapping, tapping factors K_A are calculated. (5) To be filled in after choosing the principal tapping, i.e. n_p.							

- f) The various values can now be rounded off, particularly the rated power. This rounding off and the use of a suitable number of steps naturally affects somewhat the voltage and current values. Furthermore, the possibility of operation at voltages higher than the tapping voltage can be considered (see Sub-clause 2.6).

When the preceding calculations have led to the choice of an extreme tapping as the maximum current tapping, it may be advisable to re-examine this choice as indicated in Clause A4 of Appendix A.

- g) For specification purposes the table can be abbreviated, as the numerical data of the table can actually be obtained from the following more concentrated data, according to IEC Publication 76-4, (Sub-clause 5.2):

- rated power and rated voltages;
- which winding is the tapped winding, and its tapping range;
- the number of tapping positions or the value of the tapping step;
- which tapping is the “maximum voltage tapping” with the corresponding tapping voltages;
- which tapping is the “maximum current tapping”.

2.4.4 Examples of application of this method

Three examples are given in Appendix A.