RAPPORT TECHNIQUE

TECHNICAL REPORT

CEI
IEC
909-2

Première édition
First edition
1992-08

Matériel électrique – Données pour le calcul des courants de court-circuit conformément à la CEI 909 (1988)

Electrical equipment – Data for short-circuit current calculations in accordance with IEC 909 (1988)

Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 909-2: 1992

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:17:03 2007

Révision de la présente publication

Le contenu technique des publications de la C E I est constamment revu par la Commission afin d'assurer qu'il reflète bien l'état actuel de la technique.

Les renseignements relatifs à ce travail de révision, à l'établissement des éditions révisées et aux mises à jour peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la C E I et en consultant les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la C E I**
- **Annuaire de la C E I**
- **Catalogue des publications de la C E I**
  Publié annuellement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la Publication 50 de la C E I: Vocabulaire Electrotechnique International (VEI), qui est établie sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini, l'Index général étant publié séparément. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande.

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

Symboles graphiques et littéraux

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

— la Publication 27 de la C E I: Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique;

— la Publication 617 de la C E I: Symboles graphiques pour schémas.

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit repris des Publications 27 ou 617 de la C E I, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la C E I établies par le même Comité d'Etudes

L'attention du lecteur est attirée sur le deuxième feuillet de la couverture, qui énumère les publications de la C E I préparées par le Comité d'Etudes qui a établi la présente publication.

Revision of this publication

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

Information on the work of revision, the issue of revised editions and amendment sheets may be obtained from I E C National Committees and from the following I E C sources:

- **I E C Bulletin**
- **I E C Yearbook**
- **Catalogue of I E C Publications**
  Published yearly

Terminology

For general terminology, readers are referred to I E C Publication 50: International Electrotechnical Vocabulary (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field, the General Index being published as a separate booklet. Full details of the IEV will be supplied on request.

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 I E C for general use, readers are referred to:

— I E C Publication 27: Letter symbols to be used in electrical technology;

— I E C Publication 617: Graphical symbols for diagrams.

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

I E C publications prepared by the same Technical Committee

The attention of readers is drawn to the back cover, which lists I E C publications issued by the Technical Committee which has prepared the present publication.

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:02 2007

RAPPORT TECHNIQUE

TECHNICAL REPORT

CEI
IEC
909-2

Première édition
First edition
1992-08

Matériel électrique – Données pour le calcul des courants de court-circuit conformément à la CEI 909 (1988)

Electrical equipment – Data for short-circuit current calculations in accordance with IEC 909 (1988)

© CEI 1992 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 Varembé Genève, Suisse

Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE X

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

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:02 2007

SOMMAIRE

Pages

AVANT-PROPOS 4

Articles

SECTION 1: GÉNÉRALITÉS

1.1 Domaine d'application et objet 6
1.2 Documents de référence 6

SECTION 2: CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DES MATÉRIELS ÉLECTRIQUES

2.1 Généralités 6
2.2 Données relatives à des machines synchrones types 8
2.3 Données relatives à des transformateurs types à deux ou trois enroulements et à des autotransformateurs types 12
2.4 Données relatives à des lignes aériennes types, à un ou deux circuits 20
2.5 Données relatives à des câbles types, basse et haute tension 28
2.6 Données relatives à des moteurs asynchrones types 34
2.7 Jeux de barres 34

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:02 2007

CONTENTS

Page

FOREWORD 5

Clause

SECTION 1: GENERAL

1.1 Scope and object 7
1.2 Reference documents 7

SECTION 2: DATA FOR ELECTRICAL EQUIPMENT

2.1 General 7
2.2 Data on typical synchronous machines 9
2.3 Data on typical transformers, two-winding, three-winding and auto-transformers 13

2.4 Data on typical overhead lines, single and double circuits 21
2.5 Data on typical low- and high-voltage cables 29
2.6 Data on typical asynchronous motors 35
2.7 Busbars 35

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:02 2007

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MATÉRIEL ÉLECTRIQUE – DONNÉES POUR LE CALCUL DES COURANTS DE COURT-CIRCUIT CONFORMÉMENT À LA CEI 909 (1988)

AVANT-PROPOS

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 voeu 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.

Le présent Rapport technique a été établi par le Comité d'Etudes n° 73 de la CEI: Courants de court-circuit.

Le texte de ce rapport est issu des documents suivants:

CD	Rapport de vote
73(SEC)39	73(SEC)46

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de ce rapport.

Le présent rapport est un Rapport technique de type 3 qui est de caractère entièrement informatif. Il ne doit pas être considéré comme une Norme internationale.

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:02 2007

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ELECTRICAL EQUIPMENT – DATA FOR SHORT-CIRCUIT CURRENT CALCULATIONS IN ACCORDANCE WITH IEC 909 (1988)

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.

This Technical Report has been prepared by IEC Technical Committee No. 73: Short-circuit currents.

The text of this report is based on the following documents:

CD	Report on Voting
73(SEC)39	73(SEC)46

Full information on the voting for the approval of this report can be found in the Voting Report indicated in the above table.

This report is a Technical Report of type 3 and is of a purely informative nature. It is not to be regarded as an International Standard.

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:02 2007

MATÉRIEL ÉLECTRIQUE – DONNÉES POUR LE CALCUL DES COURANTS DE COURT-CIRCUIT CONFORMÉMENT À LA CEI 909 (1988)

SECTION 1: GÉNÉRALITÉS

1.1 Domaine d'application et objet

Le présent Rapport technique comporte des données recueillies dans différents pays pour être utilisées, lorsque cela est nécessaire, lors du calcul des courants de court-circuit conformément à la CEI 909 et à la CEI 781.

En général, les données pour le matériel électrique sont indiquées par les constructeurs sur la plaque signalétique ou par les fournisseurs d'électricité. Dans quelques cas, cependant, les données peuvent ne pas être disponibles. Les données fournies dans le présent rapport peuvent être appliquées pour calculer les courants de court-circuit dans les réseaux basse tension si elles sont en conformité avec le matériel type employé dans le pays de l'utilisateur. Les données recueillies et leur évaluation peuvent être utilisées pour les besoins de la planification en moyenne ou haute tension et aussi aux fins de comparaison avec les données indiquées par les constructeurs. Dans le cas des lignes aériennes, les caractéristiques électriques peuvent être calculées à partir des dimensions physiques.

1.2 Documents de référence

CEI 38: 1983, *Tensions normales de la CEI.*

CEI 50, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI).*

CEI 781: 1989, *Guide d'application pour le calcul des courants de court-circuit dans les réseaux à basse tension radiaux.*

CEI 909: 1988, *Calcul des courants de court-circuit dans les réseaux triphasés à courant alternatif.*

SECTION 2: CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DES MATÉRIELS ÉLECTRIQUES

2.1 Généralités

Les données présentées sont celles nécessaires au calcul des courants de court-circuit. En général les données sont présentées sous forme de tableaux de courbes. Pour chaque type de matériel un tableau est présenté, indiquant les données comme des exemples avec des notes explicatives et des commentaires additionnels sur les données fournies. Au total 15 Comités nationaux ont donné des informations. Les informations reçues sont récapitulées dans le tableau 1.

Dans quelques cas, des valeurs moyennes ou des tendances caractéristiques sont données en fonction de la puissance assignée, de la tension assignée, etc.

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:02 2007

ELECTRICAL EQUIPMENT – DATA FOR SHORT-CIRCUIT CURRENT CALCULATIONS IN ACCORDANCE WITH IEC 909 (1988)

SECTION 1: GENERAL

1.1 Scope and object

This Technical Report comprises data collected from different countries to be used when necessary for calculating short-circuit currents in accordance with IEC 781 and IEC 909.

Generally, electrical equipment data are given by the manufacturers on the name plate or by the electricity supplier. In some cases, however, the data may not be available. The data presented in this report may be applied for calculating short-circuit currents in low-voltage systems if they are in accordance with typical equipment employed in the user's country. The collected data and their evaluation may be used for medium or high voltage planning purposes and also for comparison with data given by manufacturers. For overhead lines the electrical data may be calculated from the physical dimensions.

1.2 Reference documents

IEC 38: 1983, *IEC standard voltages.*

IEC 50, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV).*

IEC 781: 1989, *Application guide for calculation of short-circuit currents in low-voltage radial systems.*

IEC 909: 1988, *Short-circuit current calculation in three-phase a.c. systems.*

SECTION 2: DATA FOR ELECTRICAL EQUIPMENT

2.1 General

The data presented are necessary for the calculation of short-circuit currents. In general data are presented in the form of curve sheets. For each type of equipment a table is presented, giving data as examples and explanatory notes and additional comments on the supplied data. In all 15 National Committees gave information. Information received is listed in table 1.

In some cases, average values or characteristic trends as function of rated power, rated voltage, etc. are given.

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:02 2007

Tableau 1 – Informations reçues des Comités nationaux

Comité national	Nombre de réponses aux tableaux du questionnaire						
	1	2	3	4	5	6	7
Australie	3	3	3	3	3	3	3
Autriche	10	11	4	1	8	7	—
Bulgarie	4	15	6	6	14	11	28
Chine	3	3	3	3	3	3	3
Tchécoslovaquie	8	5	—	3	9	5	68
Danemark	8	18	1	2	8	15	—
ex-Allemagne de l'Est	23	28	9	6	8	—	20
Allemagne	21	26	2	2	5[1)]	13[2)]	19
Hongrie	7	16	3	5	9	8	9
Italie	25	16	4	6	26	9	11
Japon	12	10	7	7	7	9	3
Norvège	9	10	4	3	9	8	10
Royaume-Uni	—	11	1	5	—	—	—
Etats-Unis d'Amérique	110	10	1	—	—	10	20
ex-URSS	12	6	3	5	4	—[3)]	10
	255	188	51	57	113	101	204

1) Données complémentaires pour les lignes aériennes basse et moyenne tension.

2) Données complémentaires pour les câbles basse tension.

3) Données pour les jeux de barres.

2.2 Données relatives à des machines synchrones types

Sur la figure 1, la réactance subtransitoire de turbo-alternateurs, de moteurs et compensateurs synchrones ainsi que d'alternateurs à pôles saillants, à 50 Hz et à 60 Hz, est tracée en fonction de la puissance assignée.

Sur la figure 2, la tension assignée et le facteur de puissance assigné de turbo-alternateurs, d'alternateurs à pôles saillants et de moteurs synchrones, à 50 Hz et à 60 Hz, sont tracés en fonction de la puissance assignée.

Sur la figure 3, les réactances non saturée et saturée de turbo-alternateurs à 50 Hz et à 60 Hz sont tracées en fonction de la puissance assignée.

Des données sont également indiquées pour la réactance homopolaire. Il est recommandé d'utiliser le rapport: $X_{(0)}/X''_d = 0{,}5$.

Dans le tableau 2, des données caractéristiques sont récapitulées pour les machines synchrones.

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:02 2007

Table 1 – Information received from National Committees

National Committee	Number of answers to questionnaire tables						
	1	2	3	4	5	6	7
Australia	3	3	3	3	3	3	3
Austria	10	11	4	1	8	7	—
Bulgaria	4	15	6	6	14	11	28
China	3	3	3	3	3	3	3
Czechoslovakia	8	5	—	3	9	5	68
Denmark	8	18	1	2	8	15	—
ex-GDR	23	28	9	6	8	—	20
Germany	21	26	2	2	5[1)]	13[2)]	19
Hungary	7	16	3	5	9	8	9
Italy	25	16	4	6	26	9	11
Japan	12	10	7	7	7	9	3
Norway	9	10	4	3	9	8	10
UK	—	11	1	5	—	—	—
USA	110	10	1	—	—	10	20
ex-USSR	12	6	3	5	4	—[3)]	10
	255	188	51	57	113	101	204

1) Additional data for low and medium voltage overhead lines.

2) Additional data for low voltage cables.

3) Data for busbars.

2.2 Data on typical synchronous machines

In figure 1 the subtransient reactance of 50 Hz and 60 Hz synchronous turbogenerators, motors, condensers and salient pole generators is plotted as a function of the rated power.

In figure 2 the rated voltage and power factor of 50 Hz and 60 Hz synchronous turbogenerators, salient pole generators and motors are plotted as a function of the rated power.

In figure 3 the unsatured and satured reactances for 50 Hz and 60 Hz turbogenerators are plotted as a function of the rated power.

Data are also given for the zero-sequence reactance. It is recommended that the relationship $X_{(0)}/X''_d = 0{,}5$ be used.

Characteristic data for synchronous machines are listed in table 2.

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:02 2007

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:02 2007

Tableau 2 - Caractéristiques réelles d'alternateurs types et de compensateurs et moteurs synchrones types

N°	Type[1]	Puissance apparente assignée	Tension assignée et variations[2]		Facteur de puissance	Valeurs relatives des réactances					Constante de temps en courant continu	Notes	Comité national
		S_{rG}	U_{rG}	$\pm p_G$	$\cos\varphi_{rG}$	x_d[3]	x_{dsat}[4]	x''_d	$x_{(2)}$[6]	$x_{(0)}$[7]	T_a[5]		
	–	MVA	kV	%	–	–	–	–	–	–	s		
1	TG2	100	10,5	±5	0,80	1,77	1,45	0,134	–	–	0,246	50 Hz	Allemagne
2	TG2	125	10,5	±5	0,80	2,13	1,87	0,16	0,18	0,08	0,46	50 Hz	ex-Allemagne de l'Est
3	TG2	180	10,5	±5	0,90	1,83	1,77	0,25	0,23	0,14	0,48	50 Hz	Autriche
4	TG2	353	18,0	±5	0,85	2,264	2,17	0,167	0,204	0,089	0,194	50 Hz	Chine
5	TG2	388,9	17,5	±5	0,90	2,42	2,188	0,203	0,202	0,099	0,250	50 Hz	Australie
6	TG2	64	13,8	±5	0,85	1,865	1,865	0,179	0,170	0,104	0,220	60 Hz	Etats-Unis d'Amérique
7	SG20	290	18	±5	0,90	1,03	0,96	0,22	0,22	0,14	0,36	60 Hz	Japon
8	SG14	48	10	±5	0,90	0,78	–	0,160	0,170	0,05	0,16	50 Hz	Italie
9	SM2	1,45	10	+5 −10	0,90	1,63	–	0,166	0,166	0,046	0,04	50 Hz	ex-URSS
10	SM3	3,4	4,0	±5	0,80	2,675	2,675	0,249	0,303	–	0,116	60 Hz	Etats-Unis d'Amérique
11	SC10	40	13,8	±5	0	1,33	1,33	0,119	0,129	–	0,1425	60 Hz	Etats-Unis d'Amérique
12	SC6	100	10,5	±5	0	1,78	1,60	0,20	0,25	0,095	0,57	50 Hz	Tchécoslovaquie

[1] TG2: Turbo-alternateur à deux pôles.
SG: Alternateur à pôles saillants.
SC: Compensateur synchrone à pôles saillants.
SM: Moteur synchrone.

[2] $U_G = U_{rG}\,(1 \pm \frac{p_G}{100})$.

[3] Réactance synchrone non saturée.
[4] Réactance synchrone saturée.
[5] Constante de temps en courant continu pour un court-circuit triphasé aux bornes.
[6] Réactance inverse.
[7] Réactance homopolaire.

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:02 2007

Table 2 - Actual data of typical synchronous generators, condensers and motors

No.	Type[1]	Rated apparent power	Rated voltage and deviation[2]		Power factor	Relative values of reactances					DC time constant	Notes	National Committee
		S_{rG}	U_{rG}	$\pm p_G$	$\cos\varphi_{rG}$	x_d[3]	x_{dsat}[4]	x''_d	$x_{(2)}$[6]	$x_{(0)}$[7]	T_a[5]		
	-	MVA	kV	%	-	-	-	-	-	-	s		
1	TG2	100	10,5	±5	0,80	1,77	1,45	0,134	–	–	0,246	50 Hz	Germany
2	TG2	125	10,5	±5	0,80	2,13	1,87	0,16	0,18	0,08	0,46	50 Hz	ex-GDR
3	TG2	180	10,5	±5	0,90	1,83	1,77	0,25	0,23	0,14	0,48	50 Hz	Austria
4	TG2	353	18,0	±5	0,85	2,264	2,17	0,167	0,204	0,089	0,194	50 Hz	China
5	TG2	388,9	17,5	±5	0,90	2,42	2,188	0,203	0,202	0,099	0,250	50 Hz	Australia
6	TG2	64	13,8	±5	0,85	1,865	1,865	0,179	0,170	0,104	0,220	60 Hz	USA
7	SG20	290	18	±5	0,90	1,03	0,96	0,22	0,22	0,14	0,36	60 Hz	Japan
8	SG14	48	10	±5	0,90	0,78	–	0,160	0,170	0,05	0,16	50 Hz	Italy
9	SM2	1,45	10	+5 −10	0,90	1,63	–	0,166	0,166	0,046	0,04	50 Hz	ex-USSR
10	SM3	3,4	4,0	±5	0,80	2,675	2,675	0,249	0,303	–	0,116	60 Hz	USA
11	SC10	40	13,8	±5	0	1,33	1,33	0,119	0,129	–	0,1425	60 Hz	USA
12	SC6	100	10,5	±5	0	1,78	1,60	0,20	0,25	0,095	0,57	50 Hz	Czechoslovakia

[1] TG2: Two-pole turbogenerator.
SG: Salient pole generator.
SC: Salient pole synchronous condenser.
SM: Synchronous motor.

[2] $U_G = U_{rG}\left(1 \pm \frac{p_G}{100}\right)$.

[3] Unsaturated synchronous reactance.

[4] Saturated synchronous reactance.

[5] DC time constant for three-phase terminal short circuit.

[6] Negative-sequence reactance.

[7] Zero-sequence reactance.

2.3 Données relatives à des transformateurs types à deux ou trois enroulements et à des autotransformateurs types

Sur la figure 4, la tension de court-circuit assignée est tracée en fonction de la puissance assignée pour des transformateurs de groupe de production, avec ou sans changeur de prises.

Une valeur moyenne de la tension de court-circuit assignée est donnée par:

$$u_{kr} = 8 + 0{,}92 \ln S_{rT}$$

où S_{rT} est la puissance assignée en MVA. (Les valeurs de S_{rT} se situent entre 3 MVA et 1 000 MVA.) En considérant la courbe, les valeurs moyennes suivantes peuvent être utilisées pour u_{kr}:

S_{rT} 1 - 10 MVA: $u_{kr} \approx 9\ \%$
S_{rT} 10 - 100 MVA: $u_{kr} \approx 11\ \%$
S_{rT} 100 - 1 000 MVA: $u_{kr} \approx 13\ \%$

Sur la figure 5, la tension de court-circuit assignée de transformateurs de réseau est tracée en fonction de la puissance assignée. Pour les transformateurs basse tension les valeurs de 4 % et de 6 % sont habituellement utilisées.

En excluant les autotransformateurs, les valeurs moyennes suivantes peuvent être utilisées:

S_{rT} 1 - 100 MVA: $u_{kr} \approx 12\ \%$
S_{rT} 100 - 1 000 MVA: $u_{kr} \approx 14\ \%$

En général les valeurs de tension de court-circuit assignée u_{kr} des autotransformateurs sont inférieures.

La tension de court-circuit assignée u_{kr} des transformateurs de réseau du Royaume-Uni est, en moyenne, deux fois plus élevée que celle indiquée par d'autres pays.

Le rapport $\frac{X_{(0)}}{X_{(1)}}$ pour des transformateurs de réseau à deux ou trois enroulements est, comme indiqué ci-après:

Pour les transformateurs à symbole de couplage YN d: 0,8-1,0
Pour les transformateurs à symbole de couplage Y zn: 0,1
Pour les transformateurs à symbole de couplage YN yn0 d: 1,5-3,2

Dans les tableaux 3A, 3B et 3C, des données caractéristiques sont regroupées pour les transformateurs à deux ou trois enroulements et pour les autotransformateurs.

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:03 2007

2.3 Data on typical transformers, two-winding, three-winding and auto-transformers

In figure 4 the rated short-circuit voltage is plotted as a function of the rated power for power station generator transformers with or without tap-changer.

An average value for the rated short-circuit voltage is given by

$$u_{kr} = 8 + 0{,}92 \ln S_{rT}$$

where S_{rT} is the rated power in MVA. (Values of S_{rT} lie between 3 MVA and 1 000 MVA.) From the curve sheet it can be seen that the following average values for u_{kr} may be used:

S_{rT} 1 - 10 MVA: $u_{kr} \approx 9\ \%$
S_{rT} 10 - 100 MVA: $u_{kr} \approx 11\ \%$
S_{rT} 100 - 1 000 MVA: $u_{kr} \approx 13\ \%$

In figure 5 the rated short-circuit voltage of network transformers is plotted as a function of the rated power. For low-voltage transformers 4 % and 6 % are commonly used.

Excluding auto-transformers, the following average values may be used:

S_{rT} 1 - 100 MVA: $u_{kr} \approx 12\ \%$
S_{rT} 100 - 1 000 MVA: $u_{kr} \approx 14\ \%$

In general u_{kr} values for auto-transformers are lower.

The u_{kr} for network transformers in the UK is, on average, twice as large as those reported from other countries.

The relationship $\frac{X_{(0)}}{X_{(1)}}$ for two- and three-winding network transformers is as follows:

For YN d-transformers: 0,8-1,0
For Y zn-transformers: 0,1
For YN yn0 d-transformers: 1,5-3,2

In tables 3A, 3B and 3C, characteristic data for two-winding, three-winding and auto-transformers are listed.

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:03 2007

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:03 2007

Tableau 3A - Caractéristiques réelles de transformateurs types à deux enroulements (NT = réseau, PT = centrale)

N°	Puissance apparente assignée	Tension assignée		Tension de court-circuit assignée		Symbole de couplage	Côté de la mise à la terre	Réactance homo-polaire	Changeur de prises			Notes	Comité national
	S_{rT}	U_{rTHV}	U_{rTLV}	u_{kr}	u_{Rr}	HV LV		$X_{(0)}/X_{(1)}$	$\pm p_T$	u_{k+}	u_{k-}		
	MVA	kV	kV	%	%	-	-	-	%	%	%		
1	0,63	20	0,4	6,0	1,2	Dyn5	LV	≈1	±5	hors charge		50 Hz, 3 colonnes, NT	ex-Allemagne de l'Est
2	24	33	11	24,2	1,12	YNyn0	HV, LV	0,7	±10	24,1	25,3	50 Hz, 3 colonnes, NT	Royaume-Uni
3	31,5	112	22,2	12,8	0,37	YNd5	HV	≈1,0	±18	13,9	10,5	50 Hz, NT	Allemagne
4	80	121	6,3	10,5	–	YNd5	HV	0,71	2x2,5	–	–	50 Hz, 3 colonnes, NT	Bulgarie
5	500	400	132	26,1	0,30	YNynd5	HV, LV	≈1,6	±13			50 Hz, NT	Danemark
6	20	138	13,2	10,58	0,49	Dyn 1	LV	≈0,93	+2,5 –7,5			60 HZ, 3 colonnes, PT	Etats-Unis d'Amérique
7	180	110	10,5	12,0	0,221	Yd11		0,78	±12			50 Hz, PT	Autriche
8	25	132	6,3	10,5		YNd11	HV	1,0				50 Hz, 3 colonnes, PT	Hongrie
9	780	230	21,0	15,3	0,2	YNd5	HV	0,7-0,9	±15	16,7	14,3	50 Hz, PT	Allemagne
10	390	350	23,0	15,92	0,554	YNd1	HV	1,0	+10 –15	16,7	15,5	50 Hz, 3 colonnes, PT	Australie

IEC 909 PT*2 92 ■ 4844891 0535888 208 ■

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:03 2007

Table 3A - Actual data of typical two-winding transformers (NT-network, PT = power station)

No.	Rated apparent power	Rated voltage		Rated short-circuit voltage		Winding connection symbol	Side of earthing connection	Zero-sequence reactance	Tap-changer			Notes	National Committee
	S_{rT}	U_{rTHV}	U_{rTLV}	u_{kr}	u_{Rr}	HV LV		$X_{(0)}/X_{(1)}$	$\pm_{PT}$	u_{k+}	u_{k-}		
	MVA	kV	kV	%	%	-	-	-	%	%	%		
1	0,63	20	0,4	6,0	1,2	Dyn5	LV	≈1	±5	off load		50 Hz, 3 limb, NT	ex-GDR
2	24	33	11	24,2	1,12	YNyn0	HV, LV	0,7	±10	24,1	25,3	50 Hz, 3 limb, NT	UK
3	31,5	112	22,2	12,8	0,37	YNd5	HV	≈1,0	±18	13,9	10,5	50 Hz, NT	Germany
4	80	121	6,3	10,5	-	YNd5	HV	0,71	2x2,5	-	-	50 Hz, 3 limb, NT	Bulgaria
5	500	400	132	26,1	0,30	YNynd5	HV, LV	≈1,6	±13			50 Hz, NT	Denmark
6	20	138	13,2	10,58	0,49	Dyn 1	LV	≈0,93	+2,5 −7,5			60 HZ, 3 limb, PT	USA
7	180	110	10,5	12,0	0,221	Yd11		0,78	±12			50 Hz, PT	Austria
8	25	132	6,3	10,5		YNd11	HV	1,0				50 Hz, 3 limb, PT	Hungary
9	780	230	21,0	15,3	0,2	YNd5	HV	0,7-0,9	±15	16,7	14,3	50 Hz, PT	Germany
10	390	350	23,0	15,92	0,554	YNd1	HV	1,0	+10 −15	16,7	15,5	50 Hz, 3 limb, PT	Australia

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:03 2007

Tableau 3B - Caractéristiques réelles de transformateurs types à trois enroulements

N°	Tensions assignées			Puissances apparentes assignées			Tensions de court-circuit assignées (par rapport à A)			Symbole de couplage	Réactances homopolaires par rapport au côté A (côté HT)			Notes	Comité national
	$U_{rTA} = U_{rTHV}$	$U_{rTB} = U_{rTMV}$	$U_{rTC} = U_{rTLV}$	S_{rTAB}	S_{rTAC}	S_{rTBC}	u_{krAB}	u_{krAC}	u_{krBC}	HV MV LV	$X_{(0)A}$	$X_{(0)B}$	$X_{(0)C}$		
	kV	kV	kV	MVA	MVA	MVA	%	%	%	–	Ω	Ω	Ω		
1	34,5	13,8	13,8	7,5	7,5	7,5	3,65	3,58	7,96	YN d1, d1	–	–	–	60 Hz, 3 colonnes	Etats-Unis d'Amérique
2	110	38,5	6,3	31,5	31,5	31,5	10,5	17,5	6,5	YN yn0, d11	+6,13	+17,23	+18,24	50 Hz, 3 colonnes	Chine
3	120	22	11	25	16	16	11,0	14,5	3,5	YN yn0, d11	+99	–	+3,15	50 Hz, 3 colonnes	Hongrie
4	230	63	20	125	42	42	11,7	10,6	5,9	YN yn0, d11	+124,6	–	+5,74	50 Hz, 5 colonnes	ex-Allemagne de l'Est
5	239	130	13,8	94	94	94	11,79	11,31	12,44	YN yn0, d11	+32,39	+39,23	+36,31	50 Hz, 3 colonnes	Italie
6	400	230	30	600	150	150	17,5	16,5	11,3	YN yn0, d5	50,5	–3,8	+125,3	50 Hz, 5 colonnes	Autriche

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:03 2007

Table 3B - Actual data of typical three-winding transformers

No.	Rated voltages			Rated apparent powers			Rated short-circuit voltages (related to A)			Connection symbol	Zero-sequence reactances related to side A (HV-side)			Notes	National Committee
	$U_{rTA} = U_{rTHV}$	$U_{rTB} = U_{rTMV}$	$U_{rTC} = U_{rTLV}$	S_{rTAB}	S_{rTAC}	S_{rTBC}	u_{krAB}	u_{krAC}	u_{krBC}	HV MV LV	$X_{(0)A}$	$X_{(0)B}$	$X_{(0)C}$		
	kV	kV	kV	MVA	MVA	MVA	%	%	%	–	Ω	Ω	Ω		
1	34,5	13,8	13,8	7,5	7,5	7,5	3,65	3,58	7,96	YN d1, d1	–	–	–	60 Hz, 3 limb	USA
2	110	38,5	6,3	31,5	31,5	31,5	10,5	17,5	6,5	YN yn0, d11	+6,13	+17,23	+18,24	50 Hz, 3 limb	China
3	120	22	11	25	16	16	11,0	14,5	3,5	YN yn0, d11	+99	–	+3,15	50 Hz, 3 limb	Hungary
4	230	63	20	125	42	42	11,7	10,6	5,9	YN yn0, d11	+124,6	–	+5,74	50 Hz, 5 limb	ex-GDR
5	239	130	13,8	94	94	94	11,79	11,31	12,44	YN yn0, d11	+32,39	+39,23	+36,31	50 Hz, 3 limb	Italy
6	400	230	30	600	150	150	17,5	16,5	11,3	YN yn0, d5	50,5	–3,8	+125,3	50 Hz, 5 limb	Austria

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:03 2007

Tableau 3C - Caractéristiques réelles d'autotransformateurs types avec ou sans enroulement tertiaire

N°	Tensions assignées			Puissances apparentes assignées			Tensions de court-circuit assignées			Symbole de couplage	Réactance homopolaire par rappport au côté A (côté HT)			Comité national
	U_{rTA} = U_{rTHV}	U_{rTB} = U_{rTMV}	U_{rTC} = U_{rTLV}	S_{rTAB}	S_{rTAC}	S_{rTBC}	u_{krAB}	u_{krAC}	u_{krBC}	HV MV LV	$X_{(0)A}$	$X_{(0)B}$	$X_{(0)C}$	
	kV	kV	kV	MVA	MVA	MVA	%	%	%	–	Ω	Ω	Ω	
1	132	66	11	60	60	10	11,0	27,5	79,0	Y yn0, d1	+61,6	+4,19	+1049,8	Australie
2	230	121	6,6 38,5	200	200	100	11,0	32,0	20,0	Y auto, d11	+30,4	0	+54,2	ex-URSS
3	230	130	–	250	250	–	11,6	–	–	YN yn0	+24,55	–	–	Italie
4	235	165	–	300	300	–	7,0	–	–	YN yn0	+13	–	–	Danemark
5	400	132	18	250	75	75	14,6	12,2	7,1	YN yn0, d11	+10,11	–7,71	+159,1	Hongrie
6	400	121	10	250	100	100	12,9	13,1	6,3	YN yn0,d1	+95,7	–13,1	+113,9	Tchécoslovaquie
7	400	231	30	660	198	198	10,2	13,5	10,6	III, d5[1)]	+24,35	+0,35	+84,65	Allemagne

[1)] Trois éléments monophasés.

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:03 2007

Table 3C - Actual data of typical autotransformers with and without tertiary winding

No.	Rated voltages			Rated apparent powers			Rated short-circuit voltages			Connection symbol	Zero-sequence reactances related to side A (HV-Side)			National Committee
	$U_{rTA} = U_{rTHV}$	$U_{rTB} = U_{rTMV}$	$U_{rTC} = U_{rTLV}$	S_{rTAB}	S_{rTAC}	S_{rTBC}	u_{krAB}	u_{krAC}	u_{krBC}	HV MV LV	$X_{(0)A}$	$X_{(0)B}$	$X_{(0)C}$	
	kV	kV	kV	MVA	MVA	MVA	%	%	%	–	Ω	Ω	Ω	
1	132	66	11	60	60	10	11,0	27,5	79,0	Y yn0, d1	+61,6	+4,19	+1049,8	Australia
2	230	121	6,6 38,5	200	200	100	11,0	32,0	20,0	Y auto, d11	+30,4	0	+54,2	ex-USSR
3	230	130	–	250	250	–	11,6	–	–	YN yn0	+24,55	–	–	Italy
4	235	165	–	300	300	–	7,0	–	–	YN yn0	+13	–	–	Denmark
5	400	132	18	250	75	75	14,6	12,2	7,1	YN yn0, d11	+10,11	–7,71	+159,1	Hungary
6	400	121	10	250	100	100	12,9	13,1	6,3	YN yn0,d1	+95,7	–13,1	+113,9	Czechoslovakia
7	400	231	30	660	198	198	10,2	13,5	10,6	III, d5[1)]	+24,35	+0,35	+84,65	Germany

[1)] Three separate poles.

2.4 Données relatives à des lignes aériennes types, à un ou deux circuits

L'impédance directe peut être calculée à partir des données des conducteurs telles que la section et l'entraxe des conducteurs (voir CEI 909).

La résistance effective par unité de longueur est:

$$R'_L = \frac{\rho}{q}$$

où

q est la section

ρ est la résistivité

$$\rho = \frac{1}{54} \frac{\Omega\,mm^2}{m} \text{ pour le cuivre et } \rho = \frac{1}{34} \frac{\Omega\,mm^2}{m} \text{ pour l'aluminium}$$

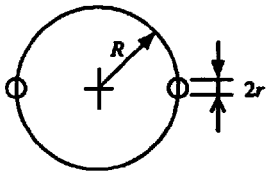
La réactance directe peut être calculée à partir des données de la ligne.

Pour les lignes à un seul conducteur, l'équation (1) est valable (voir figure 6):

$$X'_{(1)L} = \frac{\omega \mu_0}{2\pi} \left(0{,}25 + \ln \frac{d}{r}\right) \qquad (1)$$

$$d = \sqrt[3]{d_{L1L2} \cdot d_{L1L3} \cdot d_{L2L3}} \quad \text{et } r = \text{rayon du conducteur}$$

Pour les lignes à conducteurs en faisceau, l'équation (2) est valable (voir figure 7):



$$X'_{(1)L} = \frac{\omega \mu_0}{2\pi} \left(\frac{0{,}25}{n} + \ln \frac{d}{r_B}\right) \qquad (2)$$

r et d comme ci–dessus, $r_B = \sqrt[n]{n r\, R^{n-1}}$ n = nombre de conducteurs.

R est le rayon du cercle sur lequel les conducteurs sont placés, voir la figure ci-dessus.

Les impédances homopolaires sont rapportées à une résistivité du sol de $\rho = 100\ \Omega m$ et donc à une profondeur équivalente du retour de courant de $\delta = 930$ m (50 Hz) ou $\delta = 850$ m (60 Hz).

Pour les lignes à un seul circuit (I) sans câble de garde:

$$Z'^{I}_{(0)} = \frac{\rho}{n q_n} + 3\omega \frac{\mu_0}{8} + j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \left[\frac{1}{4n} + 3 \ln \frac{\delta}{\sqrt[3]{r_B d^2}}\right] \qquad (3)$$

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:03 2007

2.4 Data on typical overhead lines, single and double circuits

The positive-sequence impedance may be calculated from conductor data such as cross section and conductor centre-distances (see IEC 909).

The effective resistance per unit length is:

$$R'_L = \frac{\rho}{q}$$

where

q is the cross section

ρ is the resistivity

$$\rho = \frac{1}{54}\ \frac{\Omega\,mm^2}{m}\ \text{for copper and}\ \rho = \frac{1}{34}\ \frac{\Omega\,mm^2}{m}\ \text{for aluminium}$$

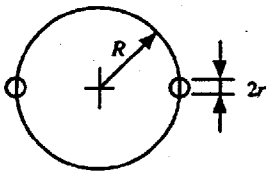
The positive-sequence reactance may be calculated from line data.

For single conductor lines equation (1) is valid (see figure 6):

$$X'_{(1)L} = \frac{\omega\,\mu_0}{2\pi}\,(0{,}25 + \ln\frac{d}{r}) \qquad (1)$$

$$d = \sqrt[3]{d_{L1L2}\cdot d_{L1L3}\cdot d_{L2L3}} \quad \text{and } r = \text{conductor radius}$$

For bundle conductor lines equation (2) is valid (see figure 7):



$$X'_{(1)L} = \frac{\omega\,\mu_0}{2\pi}\,(\frac{0{,}25}{n} + \ln\frac{d}{r_B}) \qquad (2)$$

r and d as above, $r_B = \sqrt[n]{nr\cdot R^{n-1}}$ n = number of conductors.

R is the radius in the circle on which the conductors are placed, see figure above.

The zero-sequence impedances are referred to an earth resistivity of $\rho = 100\ \Omega m$ and therefore to an equivalent depth of current return of $\delta = 930$ m (50 Hz) or $\delta = 850$ m (60 Hz).

For single circuit (I) lines without earth wire:

$$\underline{Z}'^{\,I}_{(0)} = \frac{\rho}{nq_n} + 3\omega\frac{\mu_0}{8} + j\omega\frac{\mu_0}{2\pi}\left[\frac{1}{4n} + 3\ln\frac{\delta}{\sqrt[3]{r_B d^2}}\right] \qquad (3)$$

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:03 2007

Pour les lignes à un seul circuit (I) avec un seul câble de garde (D):

$$\underline{Z}'^{ID}_{(0)} = \underline{Z}'^{I}_{(0)} - 3\,\frac{\underline{Z}'^{2}_{LD}}{\underline{Z}'_{D}} \qquad (4)$$

avec $\underline{Z}'_D = R'_D + \omega\,\frac{\mu_0}{8} + j\omega\,\frac{\mu_0}{2\pi}\left[\frac{\mu_D}{4} + \ln\frac{\delta}{r_D}\right]$

$$\underline{Z}'_{LD} = \omega\,\frac{\mu_0}{8} + j\omega\,\frac{\mu_0}{2\pi}\,\ln\frac{\delta}{d_{mLD}}$$

$$d_{mLD} = \sqrt[3]{d_{L1D}\cdot d_{L2D}\cdot d_{L3D}}$$

μ_D dépend du matériau et de la structure du câble de garde.

Pour les lignes à un seul circuit (I) avec deux câbles de garde (D1, D2):

$$\underline{Z}'^{ID1D2}_{(0)} = \underline{Z}'^{I}_{(0)} - 3\,\frac{\underline{Z}'^{2}_{LD1D2}}{\underline{Z}'_{D1D2}} \qquad (5)$$

avec $\underline{Z}'_{D1D2} = \frac{R'_D}{2} + \omega\,\frac{\mu_0}{8} + j\omega\frac{\mu_0}{2\pi}\left[\frac{\mu_D}{8} + \ln\frac{\delta}{\sqrt{r_D d_{D1D2}}}\right]$

$$\underline{Z}'_{LD1D2} = \omega\,\frac{\mu_0}{8} + j\omega\,\frac{\mu_0}{2\pi}\,\ln\frac{\delta}{d_{mLD1D2}}$$

$$d_{mLD1D2} = \sqrt[6]{d_{L1D1}\,d_{L2D1}\,d_{L3D1}\,d_{L1D2}\,d_{L2D2}\,d_{L3D2}}$$

Pour les lignes à deux circuits (II) avec un seul câble de garde (D), l'impédance homopolaire par circuit (avec deux circuits en parallèle) est égale à:

$$\underline{Z}'^{IID}_{(0)} = \underline{Z}'_{(0)} + 3\underline{Z}'_{LM} - 6\,\frac{\underline{Z}'^{2}_{LD}}{\underline{Z}'_{D}} \qquad (6)$$

avec $\underline{Z}'_{LM} = \omega\,\frac{\mu_0}{8} + j\omega\,\frac{\mu_0}{2\pi}\ln\frac{\delta}{d_{LM}}$

$$d_{mL1M1} = \sqrt[3]{D_{L1M1}\cdot D_{L2M2}\cdot D_{L3M3}}$$

$$d_{mL1M2} = \sqrt[3]{D_{L1M2}\cdot D_{L3M1}\cdot D_{L2M3}}$$

$$d_{LM} = \sqrt[3]{d^2_{mL1M2}\cdot d_{mL1M1}}$$

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:03 2007

For single circuit (I) lines with one earth wire (D):

$$\underline{Z}'^{ID}_{(0)} = \underline{Z}'^{I}_{(0)} - 3\,\frac{\underline{Z}'^{2}_{LD}}{\underline{Z}'_{D}} \qquad (4)$$

with $\underline{Z}'_D = R'_D + \omega\,\frac{\mu_0}{8} + j\omega\,\frac{\mu_0}{2\pi}\left[\frac{\mu_D}{4} + \ln\frac{\delta}{r_D}\right]$

$$\underline{Z}'_{LD} = \omega\,\frac{\mu_0}{8} + j\omega\,\frac{\mu_0}{2\pi}\,\ln\frac{\delta}{d_{mLD}}$$

$$d_{mLD} = \sqrt[3]{d_{L1D}\cdot d_{L2D}\cdot d_{L3D}}$$

μ_D depends on material and structure of the earth wire.

For single circuit (I) lines with two earth wires (D1, D2):

$$\underline{Z}'^{ID1D2}_{(0)} = \underline{Z}'^{I}_{(0)} - 3\,\frac{\underline{Z}'^{2}_{LD1D2}}{\underline{Z}'_{D1D2}} \qquad (5)$$

with $\underline{Z}'_{D1D2} = \frac{R'_D}{2} + \omega\,\frac{\mu_0}{8} + j\omega\,\frac{\mu_0}{2\pi}\left[\frac{\mu_D}{8} + \ln\frac{\delta}{\sqrt{r_D d_{D1D2}}}\right]$

$$\underline{Z}'_{LD1D2} = \omega\,\frac{\mu_0}{8} + j\omega\,\frac{\mu_0}{2\pi}\,\ln\frac{\delta}{d_{mLD1D2}}$$

$$d_{mLD1D2} = \sqrt[6]{d_{L1D1}\,d_{L2D1}\,d_{L3D1}\,d_{L1D2}\,d_{L2D2}\,d_{L3D2}}$$

For double circuit (II) lines with one earth wire (D), zero-sequence impedance per circuit (with both circuits in parallel) is:

$$\underline{Z}'^{IID}_{(0)} = \underline{Z}'_{(0)} + 3\underline{Z}'_{LM} - 6\,\frac{\underline{Z}'^{2}_{LD}}{\underline{Z}'_{D}} \qquad (6)$$

with $\underline{Z}'_{LM} = \omega\,\frac{\mu_0}{8} + j\omega\,\frac{\mu_0}{2\pi}\,\ln\frac{\delta}{d_{LM}}$

$$d_{mL1M1} = \sqrt[3]{D_{L1M1}\cdot D_{L2M2}\cdot D_{L3M3}}$$

$$d_{mL1M2} = \sqrt[3]{D_{L1M2}\cdot D_{L3M1}\cdot D_{L2M3}}$$

$$d_{LM} = \sqrt[3]{d^2_{mL1M2}\cdot d_{mL1M1}}$$

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:03 2007

Pour les lignes à deux circuits (II) avec deux câbles de garde (D1, D2), l'impédance homopolaire par circuit (avec deux circuits en parallèle) est égale à:

$$\underline{Z}'^{\,IID1D2}_{(0)} = \underline{Z}'^{\,I}_{(0)} + 3\,\underline{Z}'_{LM} - 6\,\frac{\underline{Z}'^{2}_{LD1D2}}{\underline{Z}'_{D1D2}} \qquad (7)$$

pour $\underline{Z}'_{LM}$, $\underline{Z}'_{LD1D2}$, $\underline{Z}'_{D1D2}$ voir les équations (5) et (6).

Dans le cas de lignes multiples, le couplage des impédances homopolaires entre les différents conducteurs doit être considéré.

Dans le tableau 4, des données caractéristiques sont données pour les lignes aériennes. Pour le type de ligne et le nombre de circuits, voir la figure 8.

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:03 2007

For double circuit (II) lines with two earth wires (D1, D2), zero-sequence impedance per circuit (with both circuits in parallel) is:

$$\underset{(0)}{Z'^{IID1D2}} = \underset{(0)}{Z'^{I}} + 3Z'_{LM} - 6\frac{Z'^{2}_{LD1D2}}{Z'_{D1D2}} \qquad (7)$$

for Z'_{LM}, Z'_{LD1D2}, Z'_{D1D2}, see above equations (5) and (6).

In case of multiple lines the coupling of the zero-sequence impedances between the different conductors must be considered.

In table 4 characteristic data for overhead lines are given. For type of line and number of circuits, see figure 8.

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:03 2007

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:03 2007

Tableau 4 - Caractéristiques réelles de lignes aériennes types (circuit simple ou double, 50 et 60 Hz), par circuit

N°	Type de ligne/nombre de circuits (voir figure 8)	Tension U_n	Conducteurs/ nombre de sous-conducteurs Matériau q_n	Nombre de câbles de garde Matériau q_n	Caractéristiques géométriques (voir article 2.4 et figure 8) r / r_B	d / d_{LM}	d_{mL1M2} / d_{mL1M1}	d_{D1D2}	d_{mLD} / d_{mLD1D2}	Impédance directe $Z'_{(1)} = R'_{(1)} + jX'_{(1)}$	Impédance homopolaire $Z'_{(0)} = R'_{(0)} + jX'_{(0)}$	Comité national
	–	kV	mm^2	mm^2	mm	m	m	m	m	Ω/km	Ω/km	
1	A/1	0,38	1 x Al 95	–	6,25	0,6	–	–	–	0,31 + j0,302	0,63 + j0,941	Autriche
2	B/1	20	1 x Cu25	–	3,15	1,23	–	–	–	0,746 + j0,396	0,854 + j1,643	Italie
3	D/1	66	1 x Al/Ac condor	Al/Ac No 25	13,86	3,77	–	3,0	4,9	0,072 + j0,365	0,410 + j0,882	Norvège
4	F/1	110	1 x Al/Ac 240/40	1 x Ac 50	10,95	4,06	–	–	10,8	0,119 + j0,387	0,309 + j1,382	Allemagne
5	C/1	110	1 x Al/Ac 185/25	1 x Ac 50	9,2	4,61	–	–	4,33	0,156 + j0,395	0,370 + j1,34	Bulgarie
6	C/1	132	1 x Al/Ac 525/68	1 x Al/Ac138/68	15,8	5,81	–	–	12	0,061 + j0,387	0,202 + j0,931	Danemark
7	E/1	220	1 x Al/Ac 291/37,2	2 x Ac50	11,75	6,39	–	5,8	6,99	0,108 + j0,411	0,352 + j1,242	Chine
8	C/*	220	1 x Al/Ac 400/51	1 x Ac70	13,75	8,0	–	–	11,6	0,075 + j0,420	0,250 + j1,340	ex-URSS
9	G/2	220	2 x Al/Ac 240/40	1 x Al/Ac 240/40	10,95 66,2	6,24 15,3	15,8 14,4	–	16,3	0,06 + j0,299	0,273 + j1,479	Allemagne
10	K/2	275	4 x Al/Ac 610/79,4	2 x AS 160	17,1 304	9,85 13,74	16,39 12,60	13,0	16,84	0,015 + j0,239	0,111 + j1,708	Japon (50 Hz)
11	K/2	380	2 x Al/Ac 680/85	1 x Al/Ac 240/40	18,0 48,9	11,5 19,1	19,2 23,2	–	21,6	0,0215 + j0,303	0,243 + j1,400	Autriche
12	D/1	500	4 x Al/Ac 291/37,2	2 x Al/Ac 120/22	11,75 197,3	17,64	–	24,0	18,08	0,031 + j0,286	0,233 + j0,715	Australie
13	K/2	500	4 x Al/Ac 814/56	2 x Al/Ac 150/87	38,4 287,3	15,13 21,16	25,23 19,38	20,4	26,92	0,009 + j0,304	0,356 + j1,224	Japon (60 Hz)

Résistance à une température de 20 °C.
* Conception spéciale. Deux lignes séparées en parcours commun.

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:03 2007

Table 4 - Actual data of typical overhead lines (single and double circuit 50 and 60 Hz) per circuit

No.	Type of line/number of circuits (see figure 8)	Voltage U_n	Conductors/ subconductors number Material q_n	Earth-wire ground-wire number Material q_n	Geometric data (see clause 2.4 and figure 8) r / r_B	d / d_{LM}	d_{mL1M2} / d_{mL1M1}	d_{D1D2}	d_{mLD} / d_{mLD1D2}	Positive-sequence impedance $Z'_{(1)} = R'_{(1)} + jX'_{(1)}$	Zero-sequence impedance $Z'_{(0)} = R'_{(0)} + jX'_{(0)}$	Notes
	–	kV	mm^2	mm^2	mm	m	m	m	m	Ω/km	Ω/km	
1	A/1	0,38	1 x Al 95	–	6,25	0,6	–	–	–	0,31 + j0,302	0,63 + j0,941	Austria
2	B/1	20	1 x Cu25	–	3,15	1,23	–	–	–	0,746 + j0,396	0,854 + j1,643	Italy
3	D/1	66	1 x Al/St condor	Al/St No 25	13,86	3,77	–	3,0	4,9	0,072 + j0,365	0,410 + j0,882	Norway
4	F/1	110	1 x Al/St 240/40	1 x St 50	10,95	4,06	–	–	10,8	0,119 + j0,387	0,309 + j1,382	Germany
5	C/1	110	1 x Al/St 185/25	1 x St 50	9,2	4,61	–	–	4,33	0,156 + j0,395	0,370 + j1,34	Bulgaria
6	C/1	132	1 x Al/St 525/68	1 x Al/St 138/68	15,8	5,81	–	–	12	0,061 + j0,387	0,202 + j0,931	Denmark
7	E/1	220	1 x Al/St 291/37,2	2 x St50	11,75	6,39	–	5,8	6,99	0,108 + j0,411	0,352 + j1,242	China
8	C/*	220	1 x Al/St 400/51	1 x St70	13,75	8,0	–	–	11,6	0,075 + j0,420	0,250 + j1,340	ex-USSR
9	G/2	220	2 x Al/St 240/40	1 x Al/St 240/40	10,95 66,2	6,24 15,3	15,8 14,4	–	16,3	0,06 + j0,299	0,273 + j1,479	Germany
10	K/2	275	4 x Al/St 610/79,4	2 x AS 160	17,1 304	9,85 13,74	16,39 12,60	13,0	16,84	0,015 + j0,239	0,111 + j1,708	Japan (50 Hz)
11	K/2	380	2 x Al/St 680/85	1 x Al/St 240/40	18,0 48,9	11,5 19,1	19,2 23,2	–	21,6	0,0215 + j0,303	0,243 + j1,400	Austria
12	D/1	500	4 x Al/St 291/37,2	2 x Al/St 120/22	11,75 197,3	17,64	–	24,0	18,08	0,031 + j0,286	0,233 + j0,715	Australia
13	K/2	500	4 x Al/St 814/56	2 x Al/St 150/87	38,4 287,3	15,13 21,16	25,23 19,38	20,4	26,92	0,009 + j0,304	0,356 + j1,224	Japan (60 Hz)

Resistance at a temperature of 20 °C.
*) Special design. Two separate lines in one single right-of-way.

2.5 Données relatives à des câbles types, basse et haute tension

Les impédances des câbles basse et haute tension dépendent des techniques et des normes nationales et peuvent être prises dans des manuels ou dans les données du constructeur.

La valeur de la résistance directe pour les câbles haute tension peut, en première approximation, être calculée conformément à la formule $R'_L = \rho/q_n$ (voir article 2.4). Ceci s'applique aussi aux câbles basse tension en cuivre avec des sections de 4 mm^2 à 240 mm^2 et aux câbles basse tension en aluminium de 16 mm^2 à 300 mm^2.

Les réactances directes pour des câbles basse tension selon les normes allemandes sont indiquées sur la figure 9 pour des câbles à quatre, trois et demi et trois conducteurs, des types suivants:

Type A: Câbles avec conducteurs en cuivre (aluminium), isolation en matériau thermoplastique de type PVC et un revêtement de protection sous la forme d'une gaine de matériau thermoplastique de type PVC [N(A)YY].

Type B: Câbles avec conducteurs en cuivre (aluminium), isolation en matériau thermoplastique de type PVC, conducteur concentrique en cuivre appliqué en hélice et un revêtement de protection sous la forme d'une gaine de matériau thermoplastique de type PVC [N(A)YCWY].

Type C: Câble à ceinture avec conducteurs en cuivre (aluminium), une isolation en papier par imprégnation à masse pour les conducteurs (et la ceinture), une gaine lisse extrudée en aluminium, revêtement de protection par une couche scellée (par exemple rubanée) de ruban élastomère ou de film plastique et une gaine de matériau thermoplastique de type PVC [N(A)KLEY].

Type D: Câble avec conducteurs en cuivre (aluminium), une isolation en papier par imprégnation à masse pour les conducteurs (et la ceinture), gaine de plomb avec armure en ruban d'acier et un matelas extérieur de matériau fibreux [N(A)KBA].

Sur la figure 10, la réactance directe est tracée pour les câbles moyenne tension (CEI 38) des types à champ non radial et à champ radial, à trois conducteurs.

Dans le cas des câbles haute tension (>36 kV), la réactance directe varie avec la conception, l'assemblage, la section et la tension. Les données reçues indiquent une variation de 0,1 à 0,19 Ω/km. Le rapport $X_{(0)}/X_{(1)}$ varie aussi en fonction de la conception du câble et du retour du courant. La variation du rapport $X_{(0)}/X_{(1)}$ pour les câbles sans gaine métallique et sans retour par la terre est de 0,3 à 0,8 et pour les câbles avec gaine métallique et retour par la terre de 0,25 à 3,7.

Les figures 11 et 12 donnent un aperçu général de la réactance directe $X'_{(1)}$ et des rapports $R_{(0)}/R_{(1)}$ et $X_{(0)}/X_{(1)}$ pour des câbles basse tension (types A, B, C et D, avec des conducteurs en cuivre (figure 11) et en aluminium (figure 12)).

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:03 2007

2.5 Data on typical low- and high-voltage cables

The impedances of low- and high-voltage cables depend on national techniques and standards and may be taken from textbooks or the manufacturer's data.

The positive-sequence resistance value for high-voltage cables may, as a first approximation, be calculated according to formula $R'_L = \rho/q_n$ (see clause 2.4). This also applies for low-voltage Cu cables with cross sections 4 mm^2 to 240 mm^2 and low-voltage Al cables 16 mm^2 to 300 mm^2.

The positive-sequence reactances for low-voltage cables according to German Standards are shown in figure 9 for four, three and a half and three conductor cables of the following types:

Type A: Cable with copper (aluminium) conductors, insulation of thermoplastic material based on PVC and a protective covering in the form of a sheath of thermoplastic material based on PVC [N(A)YY].

Type B: Cable with copper (aluminium) conductors, insulation of thermoplastic material based on PVC, concentric copper conductor, helically applied, and a protective covering in the form of a sheat of thermoplastic material based on PVC [N(A)YCWY].

Type C: Belted cable with copper (aluminium) conductors, a mass-impregnated paper insulation for conductors (and belt), a smooth extruded aluminium sheath, protective covering with an embedded layer (e.g. lapped) of elastomer tape or plastic film and a sheath of thermoplastic material based on PVC [N(A)KLEY].

Type D: Cable with copper (aluminium) conductors, a mass-impregnated paper insulation for conductors (and belt), lead sheat with steel tape armouring and an outer serving of fibrous material [N(A)KBA].

In figure 10 the positive-sequence reactance is plotted for medium-voltage cables (IEC 38) of the non-radial and radial field types with three conductors.

For high-voltage cables (>36 kV), the positive-sequence reactance varies with design, laying, cross section and voltage. Data received indicate a variation from 0,1 to 0,19 Ω/km. The ratio $X_{(0)}/X_{(1)}$ also varies depending on the design and the current return. The $X_{(0)}/X_{(1)}$ variation for cables without metallic sheath and without earth return is 0,3 to 0,8 and for cables with metallic sheath and earth return 0,25 to 3,7.

Figures 11 and 12 give a general survey of the positive-sequence reactance $X'_{(1)}$ and the ratios $R_{(0)}/R_{(1)}$ and $X_{(0)}/X_{(1)}$ for low-voltage cables (type A, B, C, D, with copper (figure 11) and aluminium (figure 12) conductors).

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:04 2007

Les différents circuits de retour sont:

a: circuit de retour par un quatrième conducteur;

b: circuit de retour par un quatrième conducteur et la gaine;

c: circuit de retour par un quatrième conducteur et la terre (100 Ωm);

d: circuit de retour par un quatrième conducteur, la gaine et la terre (100 Ωm).

Des valeurs spéciales en fonction de q_n sont données sur les figures 13 à 20. Les câbles sont conformes aux normes allemandes.

Le tableau 5 indique des données caractéristiques de câbles à 50 Hz.

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:04 2007

The different return circuits are:

a: return circuit by fourth conductor;

b: return circuit by fourth conductor and sheath;

c: return circuit by fourth conductor and earth (100 Ωm);

d: return circuit by fourth conductor, sheat and earth (100 Ωm).

Special values depending on q_n are given in the figures 13 to 20. The cables are according to German standards.

In table 5 characteristic data of 50 Hz cables are given.

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:04 2007

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:04 2007

Tableau 5 - Caractéristiques réelles de câbles électriques types

N°	Tension assignée U_r	Conducteurs		Section et type	Type de câble	Assemblage des conducteurs	Ecran de protection (gaine)		Impédance directe	Retour du courant	Impédance homopolaire	Notes	Pays
		Nombre	Matériau				Type	Matériau	$\underline{Z}'_{(1)} = R'_{(1)} + jX'_{(1)}$		$\underline{Z}'_{(0)} = R'_{(0)} + jX'_{(0)}$		
	1)			2)	3)	4)	5)		6)	7)	6)		
	kV	–	–	mm^2	–	–	–	–	Ω/km	–	Ω/km		
1	0,6/1	4	Al	240/220 rST	NR	3 1/2	–	–	0,129 + j0,04	4th + E	$4,2 \cdot R'_{(1)} + j4,6X_{(1)}$		Tchécoslovaquie
2	6/10	1	Cu	120 rST	R	SC	W + T	Cu	0,16 + j0,116	S + E	–	N2YSY	Hongrie
3	10	3	Cu	240 rST	NR	TC	M	Pb	0,088 + j0,069	S + E	j0,242		Chine
4	22	3	Cu	120 rST	NR	TC	FW	Cu	0,153 + j0,104	S + E	–	DKAB	Norvège
5	50	1	Al	500 r	R	SC	W	Cu	0,084 + j0,11	S + E	0,456 + j0,156		Danemark
6	110	1	Cu	240 H0	R	SC	M	Pb/Al	0,079 + j0,12	S + E	0,51 + j0,30	à pression d'huile	Allemagne
7	132	3 x 1	Cu	220 rH0	R	SC	M	Pb	0,084 + j0,12	S	0,58 + j0,061		Italie
8	275	1	Cu	1400 sST	R	SC	M	Al	0,0131 + j0,146	S + E	0,047 + j0,047		Japon
9	330	3	Cu	1200 sH0	R	SC	M	Al	0,0205 + j0,188	S + E	0,0719 + j0,0566		Australie
10	380	1	Cu	1200 sST	R	SC	M	Al	0,018 + j0,188	S	0,047 + j0,070		Autriche

1) Tension entre phases.
2) r = rond, H0 = creux, s = forme sectorale, ST = câblé.
3) R = à champ radial, NR = à champ non radial.
4) SC = unipolaire, TC = câble à trois âmes (ou plus).
5) T = bandes, W = fils, M = gaine métallique.
6) Résistance en courant alternatif à 20 °C.
7) S = dans l'écran, E = par la terre, 4th = quatrième conducteur.

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:04 2007

Table 5 - Actual data of typical electric cables

No.	Rated voltage U_r	Conductors		Cross section and type	Type of cable	Assemb. of cores	Shield (sheath)		Positive sequence impedance	Current return	Zero-sequence impedance	Notes	Country
		Number	Material				Type	Material	$Z'_{(1)} = R'_{(1)} + jX'_{(1)}$		$Z'_{(0)} = R'_{(0)} + jX'_{(0)}$		
	1)			2)	3)	4)	5)		6)	7)	6)		
	kV	–	–	mm^2	–	–	–	–	Ω/km	–	Ω/km		
1	0,6/1	4	Al	240/220 rST	NR	3 1/2	–	–	0,129 + j0,04	4th + E	$4,2 \cdot R'_{(1)} + j4,6X_{(1)}$		Czechoslovakia
2	6/10	1	Cu	120 rST	R	SC	W + T	Cu	0,16 + j0,116	S + E	–	N2YSY	Hungary
3	10	3	Cu	240 rST	NR	TC	M	Pb	0,088 + j0,069	S + E	j0,242		China
4	22	3	Cu	120 rST	NR	TC	FW	Cu	0,153 + j0,104	S + E	–	DKAB	Norway
5	50	1	Al	500 r	R	SC	W	Cu	0,084 + j0,11	S + E	0,456 + j0,156		Denmark
6	110	1	Cu	240 H0	R	SC	M	Pb/Al	0,079 + j0,12	S + E	0,51 + j0,30	oil pressure	Germany
7	132	3 x 1	Cu	220 rH0	R	SC	M	Pb	0,084 + j0,12	S	0,58 + j0.061		Italy
8	275	1	Cu	1400 sST	R	SC	M	Al	0,0131 + j0,146	S + E	0,047 + j0,047		Japan
9	330	3	Cu	1200 sH0	R	SC	M	Al	0,0205 + j0,188	S + E	0,0719 + j0,0566		Australia
10	380	1	Cu	1200 sST	R	SC	M	Al	0,018 + j0,188	S	0,047 + j0,070		Austria

1) Line-to-line voltage.
2) r = round, H0 = hollow, s = sector form, ST = stranded.
3) R = radial field, NR = non-radial field.
4) SC = single core, TC = three (or more) core cable.
5) T = tapes, W = wires, M = metallic sheaths.
6) AC resistance at 20 °C.
7) S = in the shield, E = earth, 4th = fourth conductor.

2.6 Données relatives à des moteurs asynchrones types

Le rapport entre le courant avec le rotor bloqué et le courant assigné, I_{LR}/I_{rM}, est différent pour les moteurs basse et moyenne tension. Dans le cas des moteurs basse tension, la valeur moyenne est d'environ 6,7 dans la plage de 2 kW à 300 kW par paire de pôles. Dans le cas des moteurs moyenne tension, la valeur moyenne est d'environ 5,5 dans la plage de 30 kW à 6 MW par paire de pôles.

Sur la figure 21, le rapport I_{LR}/I_{rM} est tracé en fonction de la puissance active par paire de pôles.

Le produit du facteur de puissance par le rendement assigné ($\cos\varphi_{rM} \cdot \eta_r$) est tracé sur la figure 22, en fonction de la puissance active par paire de pôles (P_{rM}/p).

Le tableau 6 indique des données réelles de moteurs asynchrones.

2.7 Jeux de barres

Le tableau 7 indique des données réelles de jeux de barres de distribution basse tension, à 50 Hz.

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:04 2007

2.6 Data on typical asynchronous motors

The ratio locked rotor current to rated current I_{LR}/I_{rM} is different for low- and medium-voltage motors. For low-voltage motors the average value is approximately 6,7 in the range 2 kW to 300 kW per pair of poles. The average value for medium-voltage motors is approximately 5,5 in the range 30 kW to 6 MW per pair of poles.

In figure 21 the ratio I_{LR}/I_{rM} is plotted as a function of the active power per pair of poles.

The product of power factor and rated efficiency ($\cos\varphi_{rM} \cdot \eta_r$) is plotted as a function of the active power per pair of poles (P_{rM}/p) in figure 22.

In table 6 actual data of asynchronous motors are given.

2.7 Busbars

Actual data of low-voltage distribution busbars 50 Hz are given in table 7.

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:04 2007

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:04 2007

Tableau 6 - Caractéristiques réelles de moteurs asynchrones types

N°	Puissance assignée P_{rM}	Tension assignée U_{rM}	Courant assigné I_{rM}	Rendement (assigné) η_r	Facteur de puissance $\cos\varphi_{rM}$	Rapport $\frac{I_{LR}}{I_{rM}}$	Vitesse de rotation (tours par minute) n_r	Nombre de paires de pôles p	Constante de temps en courant continu T_a	Pays
	kW	kV	A	-	-	-	1/min	-	s	
1	45	0,380	80	0,92	0,89	7,14	2950	1		Bulgarie
2	200	0,380	370	$\eta_r \cdot \cos\varphi_{rM} = 0,82$		6,4	-	2	0,013	Tchécoslovaquie
3	250	6,0	29	0,94	0,89	5,3	2973	1	0,05	Allemagne
4	500	6,0	62	0,942	0,83	5,8	741	4	0,053	ex-Allemagne de l'Est
5	1000	6,0	121	0,985	0,85	5,0	590	5	0,031	ex-URSS
6	3150	6,0	380	$\eta_r \cdot \cos\varphi_{rM} = 0,80$		5,2	-	6	0,064	Tchécoslovaquie
7	6000	6,0	660	0,972	0,90	5,5	1490	2	-	Italie
8	315	6,0	36,5	0,942	0,88	6,2	1794	2	-	Norvège, 60 Hz
9	6000	6,6	595	0,969	0,910	4,5	1776	2	0,055	Japon, 60 Hz
10	9698	6,6	963	0,961	0,917	6,23	1190	3	0,0968	Etats-Unis, 60 Hz

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:04 2007

Table 6 - Actual data of typical asynchronous motors

No.	Rated power P_{rM}	Rated voltage U_{rM}	Rated current I_{rM}	Efficiency (rated) η_r	Power factor $\cos\varphi_{rM}$	Ratio $\frac{I_{LR}}{I_{rM}}$	Rotation speed r.p.m. n_r	Number of pairs of poles p	D.C. Time constant T_a	Country
	kW	kV	A	–	–	–	1/min	–	s	
1	45	0,380	80	0,92	0,89	7,14	2950	1		Bulgaria
2	200	0,380	370	$\eta_r \cdot \cos\varphi_{rM}$= 0,82		6,4	–	2	0,013	Czechoslovakia
3	250	6,0	29	0,94	0,89	5,3	2973	1	0,05	Germany
4	500	6,0	62	0,942	0,83	5,8	741	4	0,053	ex-GDR
5	1000	6,0	121	0,985	0,85	5,0	590	5	0,031	ex-USSR
6	3150	6,0	380	$\eta_r \cdot \cos\varphi_{rM}$= 0,80		5,2	–	6	0,064	Czechoslovakia
7	6000	6,0	660	0,972	0,90	5,5	1490	2	–	Italy
8	315	6,0	36,5	0,942	0,88	6,2	1794	2	–	Norway, 60 Hz
9	6000	6,6	595	0,969	0,910	4,5	1776	2	0,055	Japan, 60 Hz
10	9698	6,6	963	0,961	0,917	6,23	1190	3	0,0968	USA, 60 Hz

Tableau 7 - Caractéristiques réelles de jeux de barres de distribution

N°	Tension assignée	Courant assigné	Conducteurs			Matériau de la gaine	Retour du courant	Impédance directe	Impédance homopolaire	Pays
			Nombre	Matériau	Section					
	kV	A	-	-	mm^2	-	-	Ω/m	Ω/m	-
1	0,38/0,66	1250	3	Al	1120	Al	S + E	0,038 + j0,0163	0,0882 + j0,0689	ex-URSS
2	0,38/0,66	1600	3	Al	1280	Al	S + E	0,0297 + j0,0143	0,0672 + j0,0555	ex-URSS
3	0,38/0,66	3200*)	3 x 2	Al	2650	Al	S + E	0,0101 + j0,00495	0,0735 + j0,0392	ex-URSS

*) Barre scindée 2 x 1600 A.

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:05 2007

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:05 2007

Table 7 - Actual data of distribution busbars

No.	Rated voltage	Rated current	Conductors			Material sheath	Current return	Positive-sequence impedance	Zero-sequence impedance	Country
			Number	Material	Cross section					
	kV	A	–	–	mm^2	–	–	Ω/m	Ω/m	–
1	0,38/0,66	1250	3	Al	1120	Al	S + E	0,038 + j0,0163	0,0882 + j0,0689	ex-USSR
2	0,38/0,66	1600	3	Al	1280	Al	S + E	0,0297 + j0,0143	0,0672 + j0,0555	ex-USSR
3	0,38/0,66	3200*)	3 x 2	Al	2650	Al	S + E	0,0101 + j0,00495	0,0735 + j0,0392	ex-USSR

*) Split bar 2 x 1600 A.

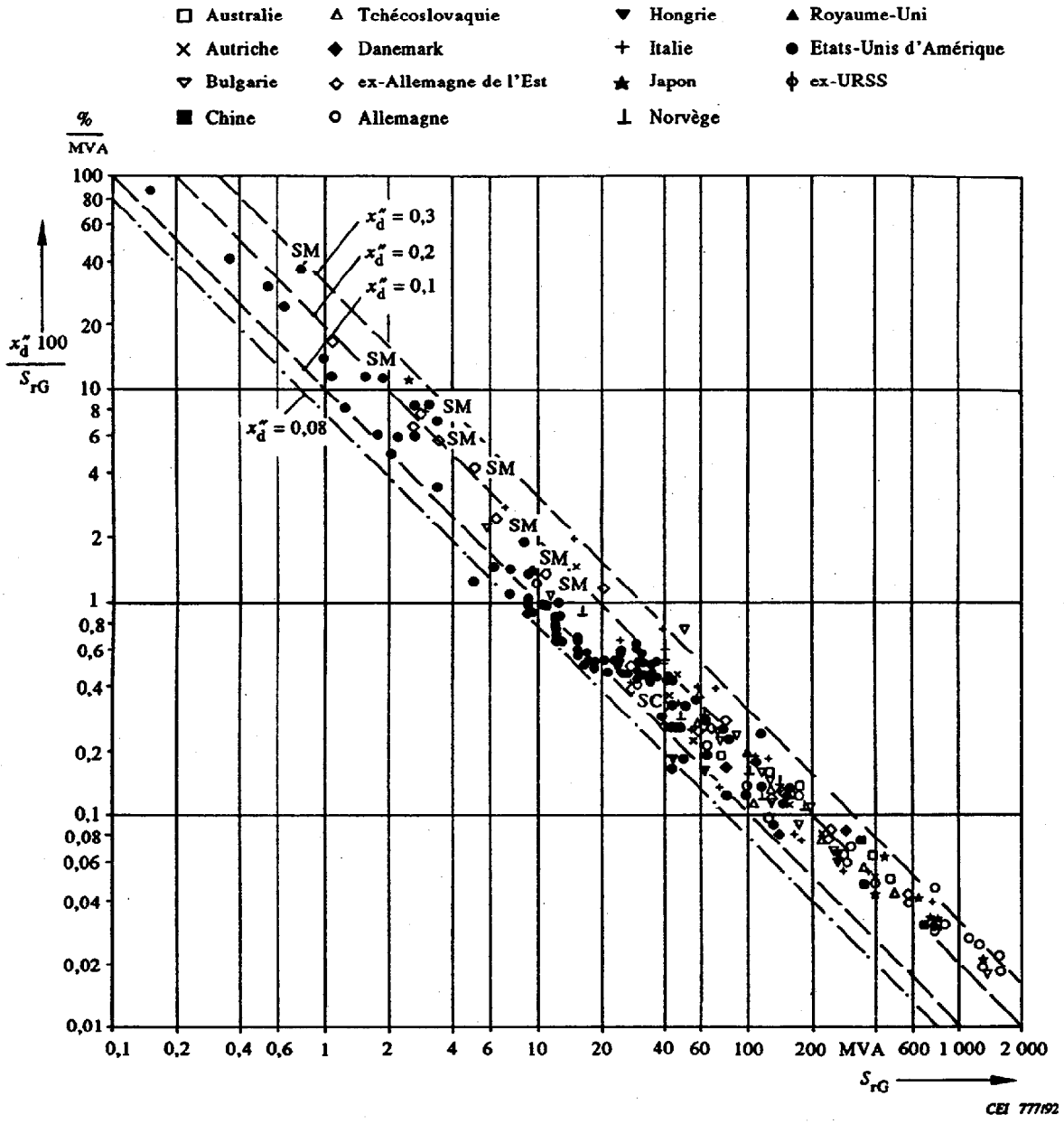


Figure 1 - Réactance subtransitoire de machines synchrones (moteurs SM, compensateurs SC, turbo-alternateurs et alternateurs à pôles saillants), 50 Hz et 60 Hz

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:05 2007

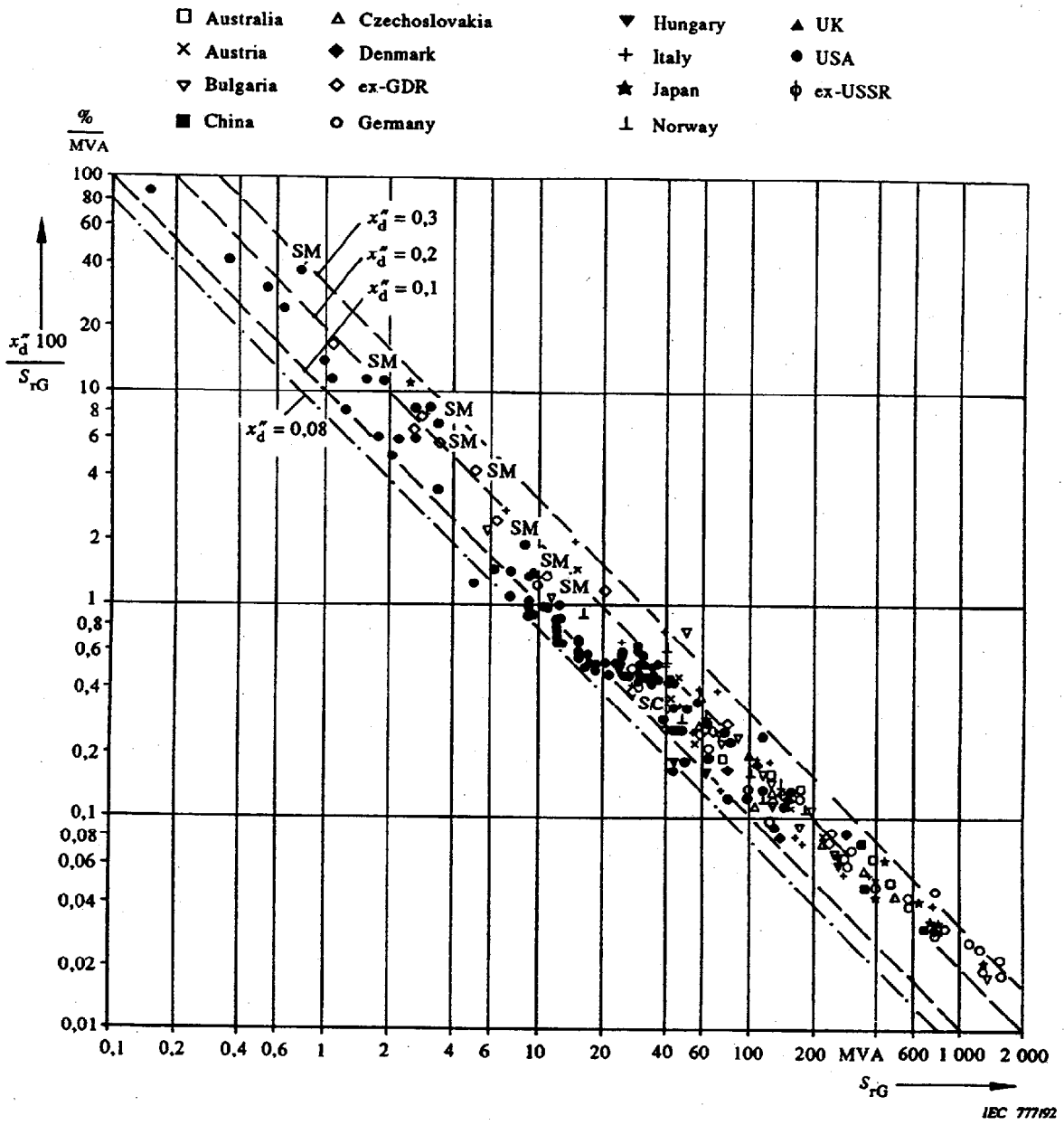


Figure 1 - Subtransient reactance of synchronous machines (motors SM, condensers SC, turbogenerators and salient pole generators) 50 Hz and 60 Hz

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:05 2007

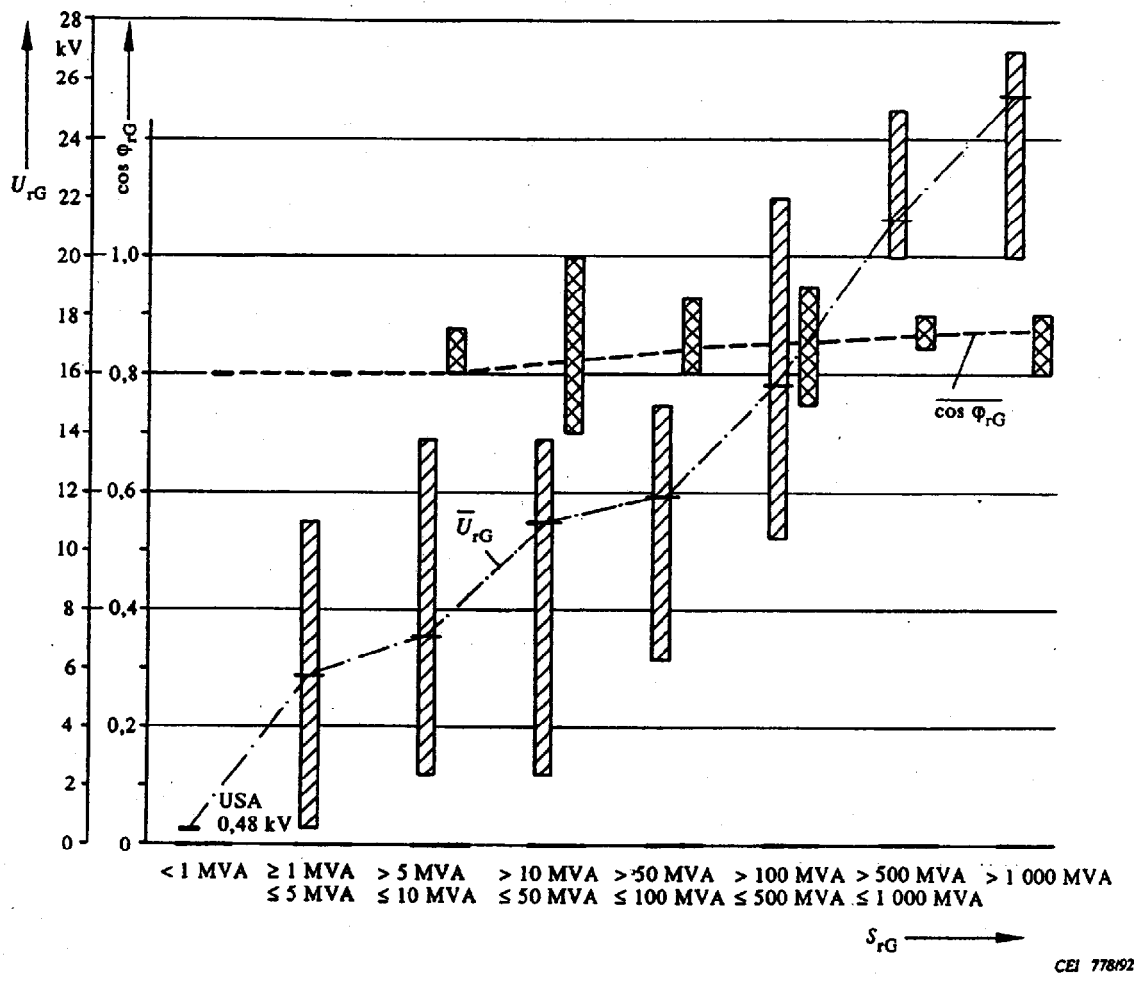


Figure 2 - Tension assignée U_{rG} et facteur de puissance assigné $\cos\varphi_{rG}$ de machines synchrones (moteurs, compensateurs, turbo-alternateurs et alternateurs à pôles saillants), 50 Hz et 60 Hz

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:05 2007

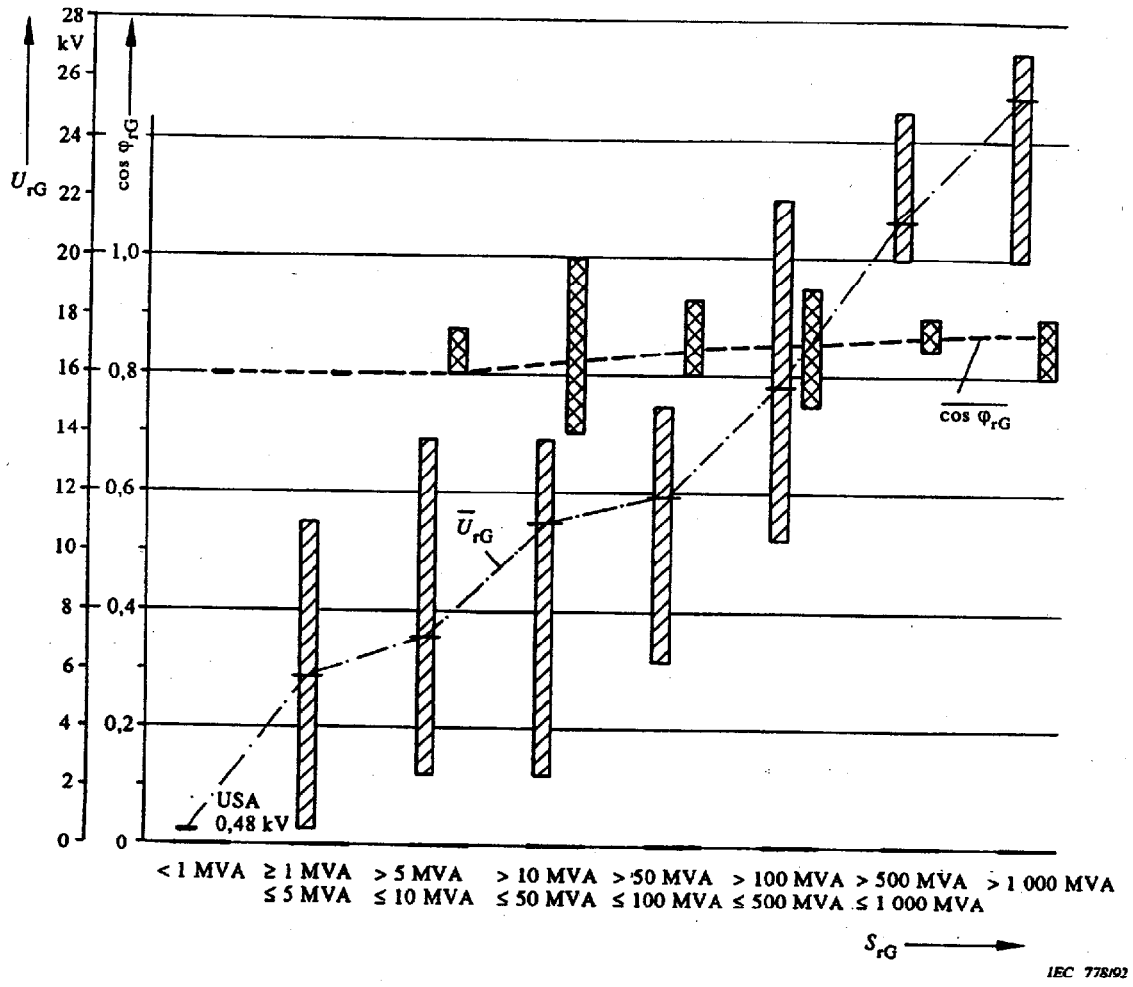
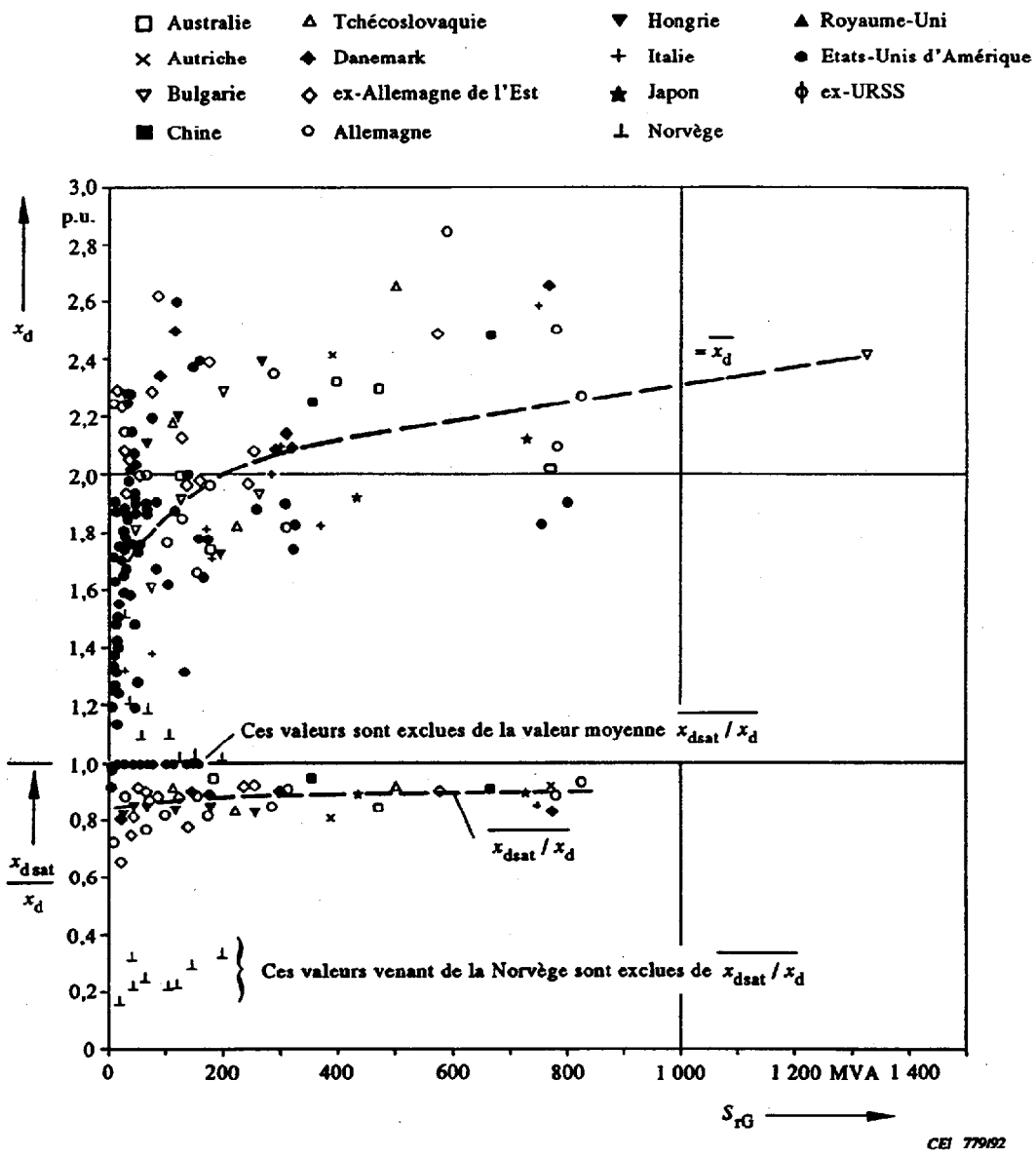


Figure 2 - Rated voltage U_{rG} and rated power factor $\cos\varphi_{rG}$ of synchronous machines (motors, condensers, turbogenerators and salient pole generators) 50 Hz and 60 Hz

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:05 2007

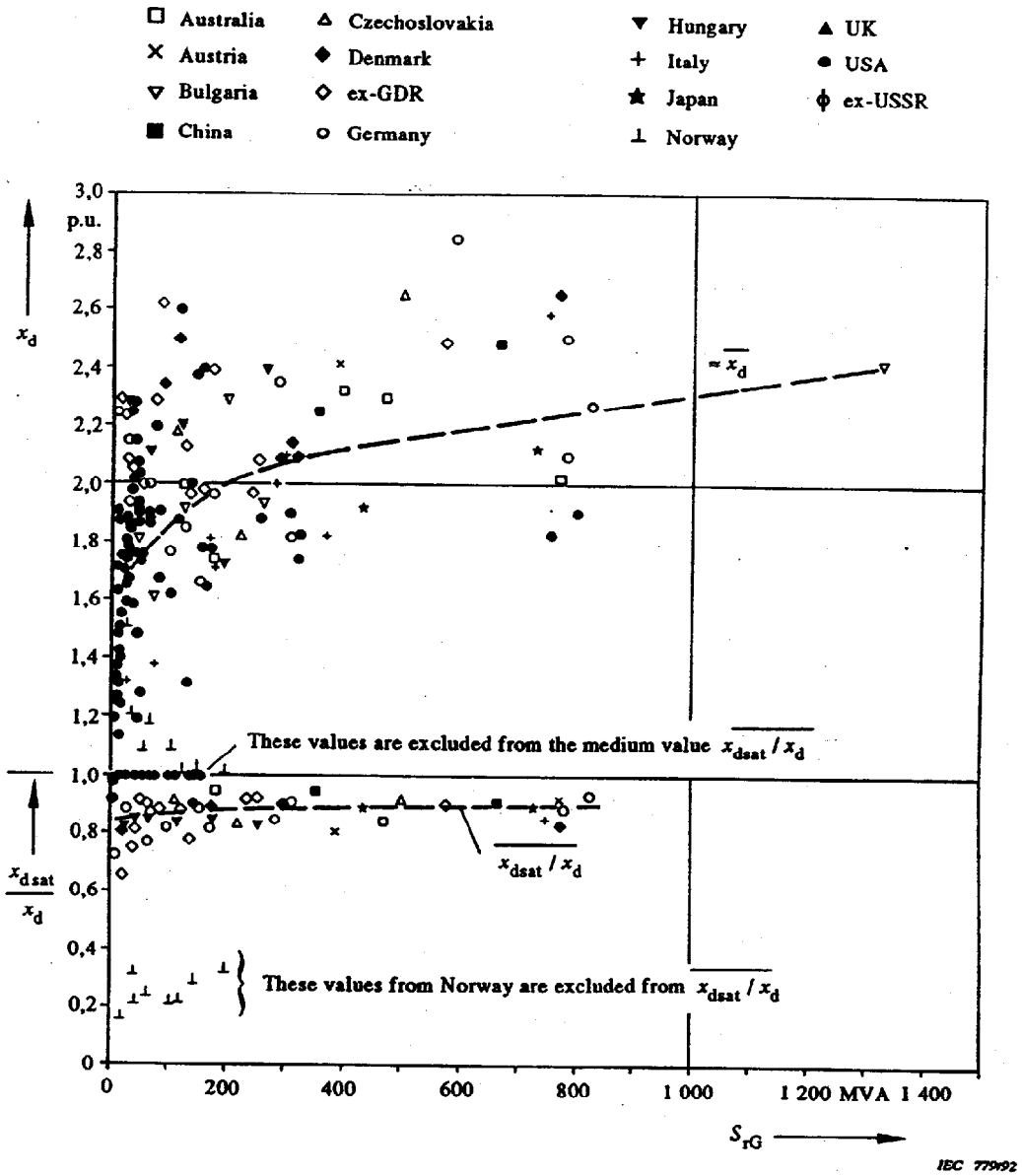


x_d = Réactance non saturée.

$x_{d\,sat}$ = Réactance saturée.

Figure 3 - Réactances synchrones non saturée et saturée de turbo-alternateurs à deux pôles 50 Hz (n = 3 000 min^{-1}) et 60 Hz (n = 3 600 min^{-1})

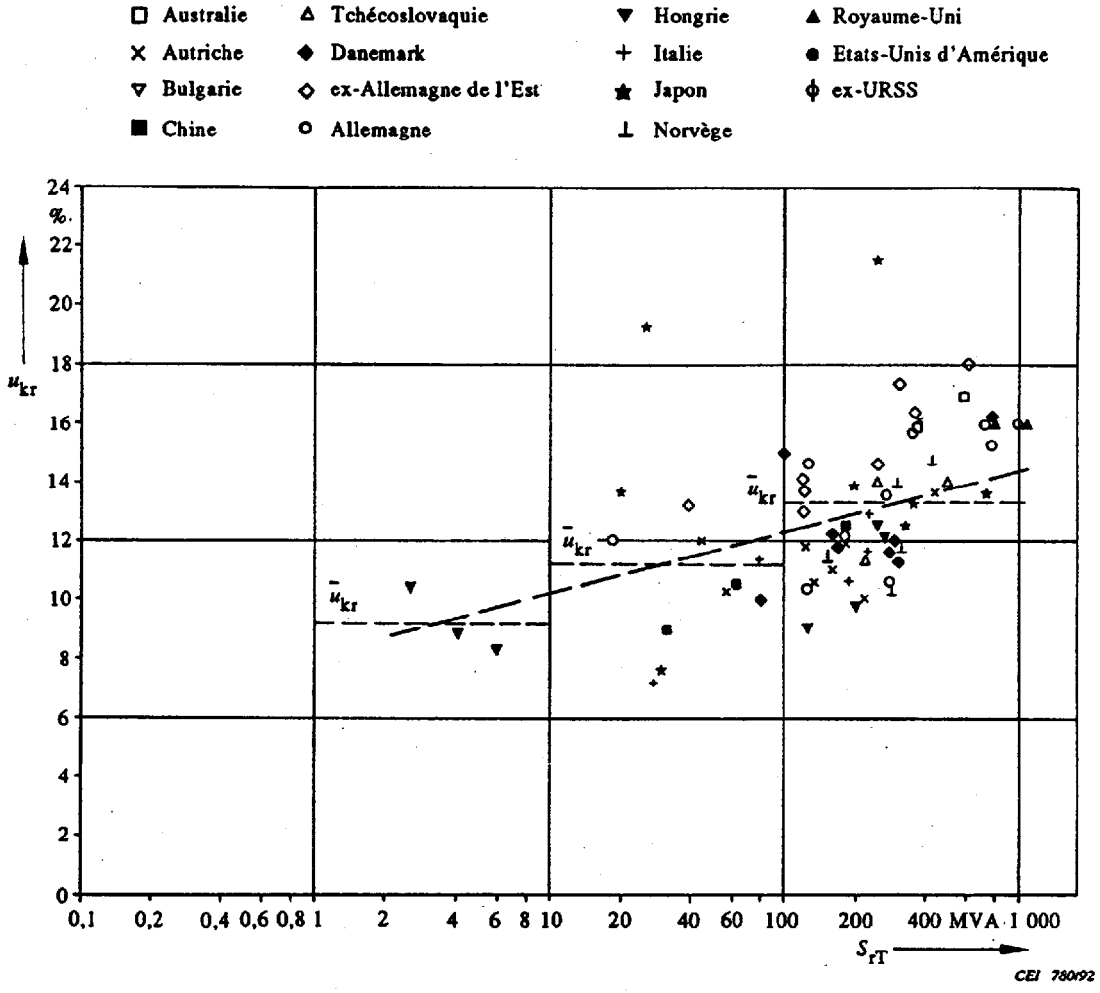
Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:05 2007



x_d = Unsaturated reactance.
$x_{d\,sat}$ = Saturated reactance.

Figure 3 - Unsaturated and saturated synchronous reactances of two-pole turbogenerators 50 Hz (n = 3 000 min^{-1}) and 60 Hz (n = 3 600 min^{-1})

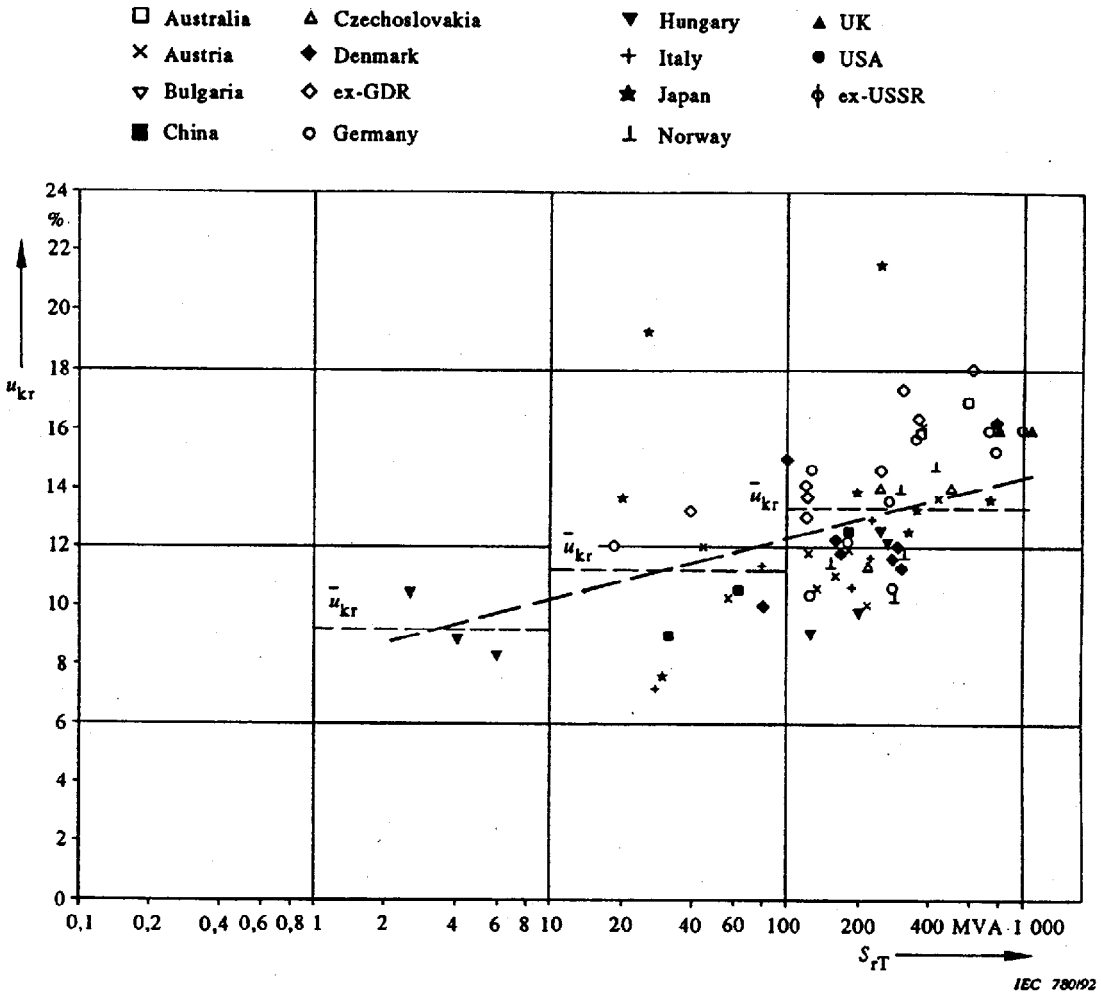
Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:05 2007



$u_{kr} = 8 + 0{,}92 \ln S_{rT}$ pour des transformateurs avec S_{rT} compris entre 3 et 1 000 MVA.

Figure 4 - Tension de court-circuit assignée u_{kr} de transformateurs de groupe de production (PT) avec ou sans changeur de prises

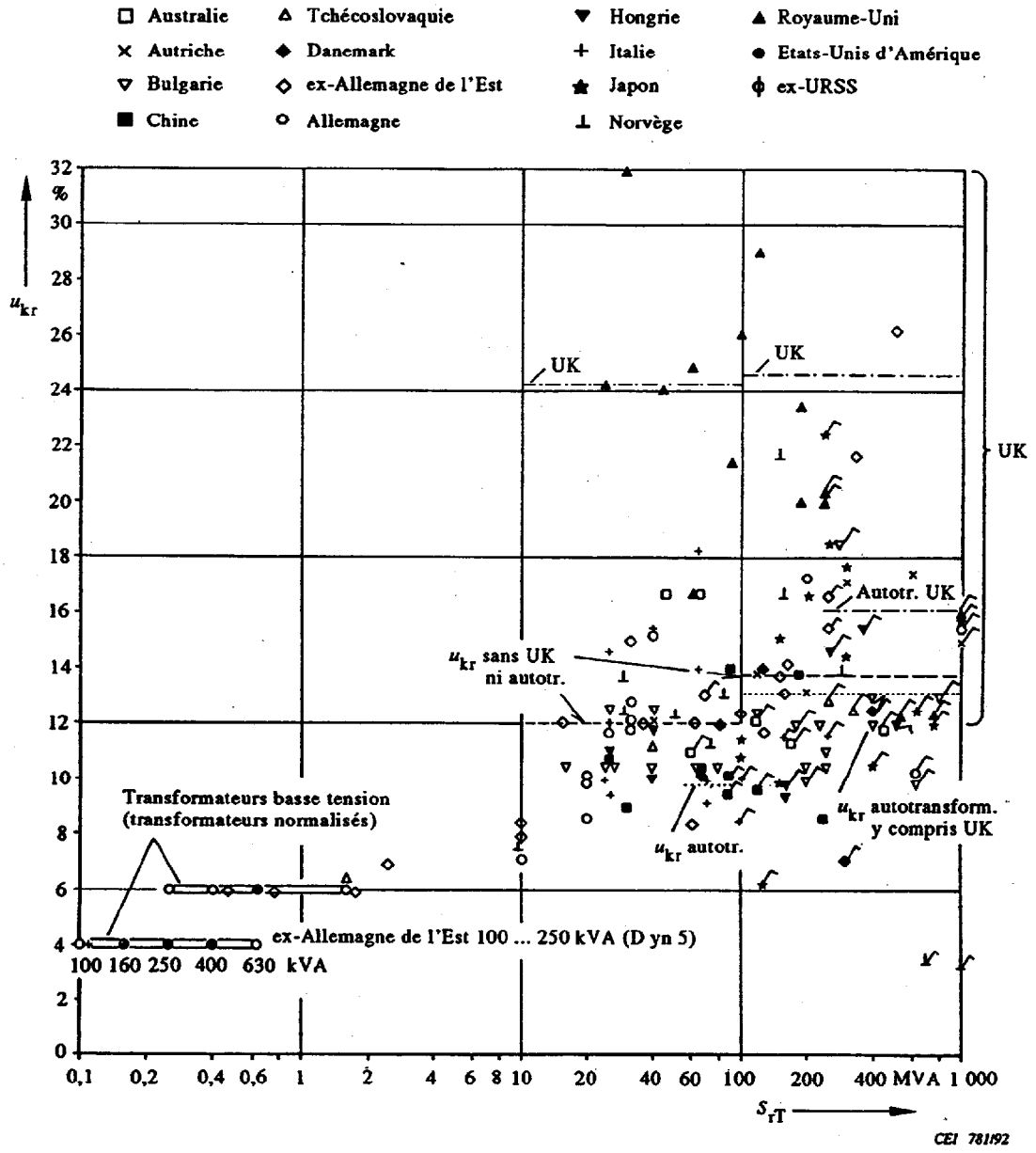
Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:05 2007



$u_{kr} \approx 8 + 0{,}92 \ln S_{rT}$ for transformers S_{rT} = (3...1 000) MVA.

Figure 4 - Rated short-circuit voltage u_{kr} of power station generator transformers (PT) with or without tap-changer

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:05 2007



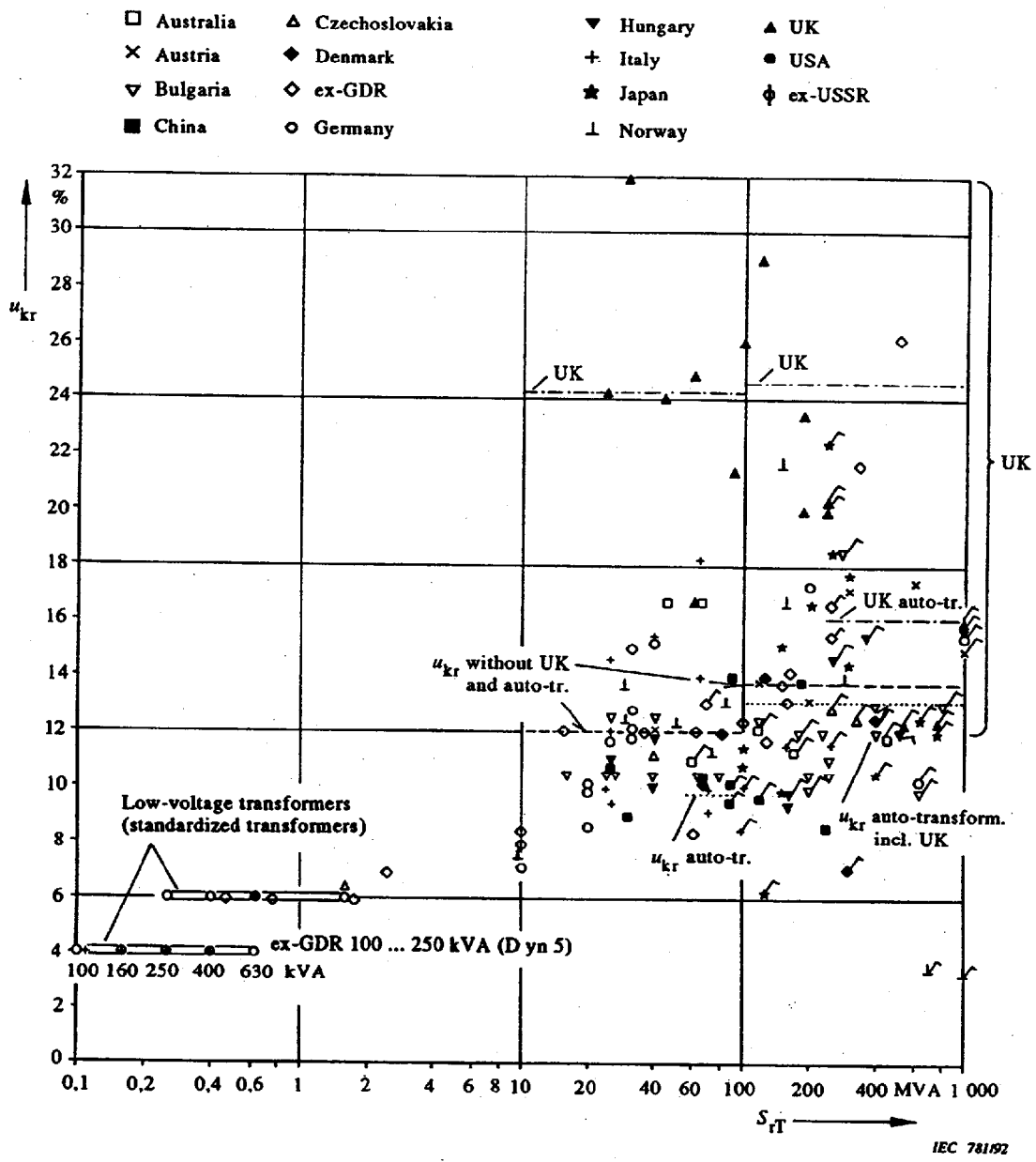
□, ×, ▽, ■ a.s.o. Transformateurs à trois enroulements $u_{krAB} = f(S_{rTAB})$.

□, ×, ▽, ■ a.s.o. Autotransformateur à trois enroulements $u_{krAB} = f(S_{rTAB})$.

UK: Royaume-Uni.

Figure 5 - Tension de court-circuit assignée u_{kr} de transformateurs de réseau

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:05 2007



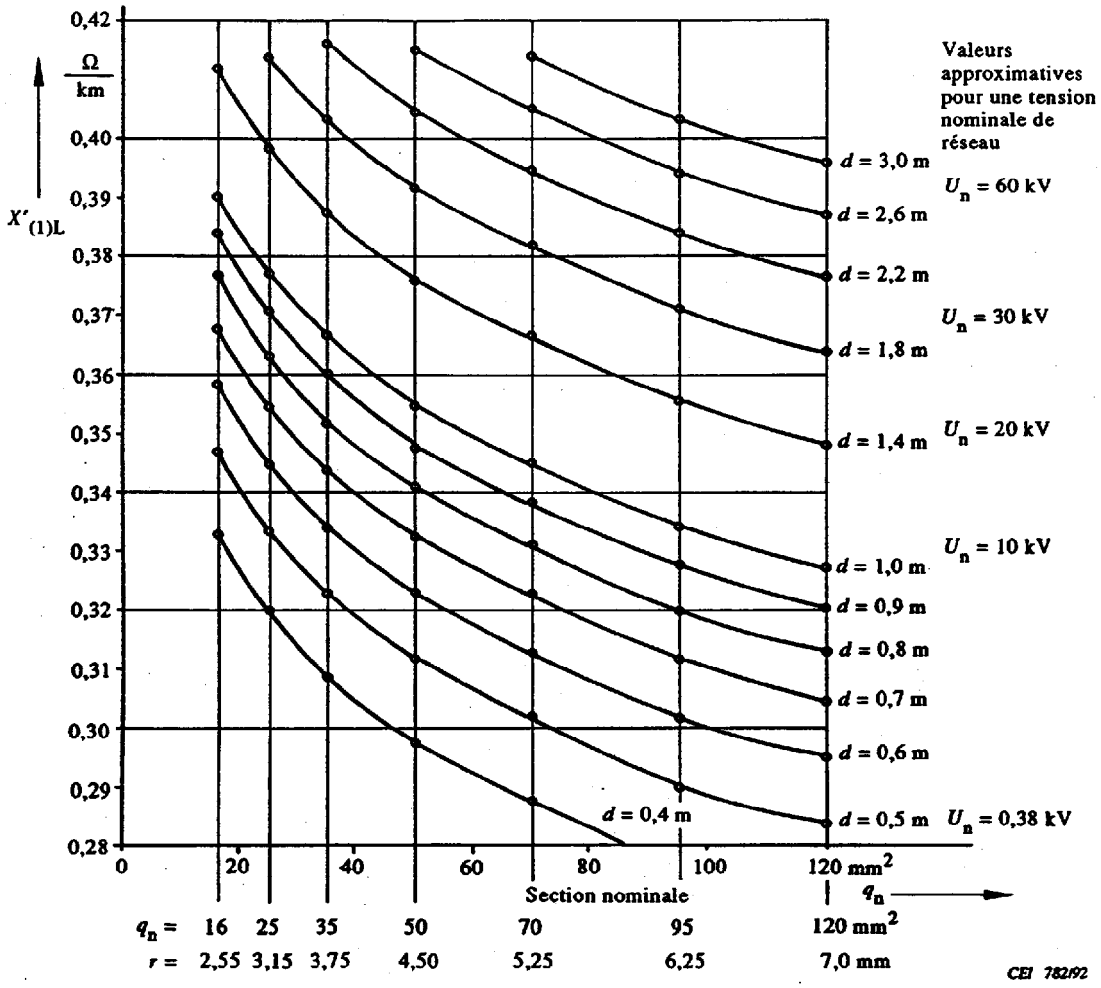
□, ×, ▽, ■ a.s.o. Three-winding transformers $u_{krAB} = f(S_{rTAB})$.

□, ×, ▽, ■ a.s.o. Three-winding auto-transformers $u_{krAB} = f(S_{rTAB})$.

UK: United Kingdom.

Figure 5 - Rated short-circuit voltage u_{kr} of network transformers

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:05 2007

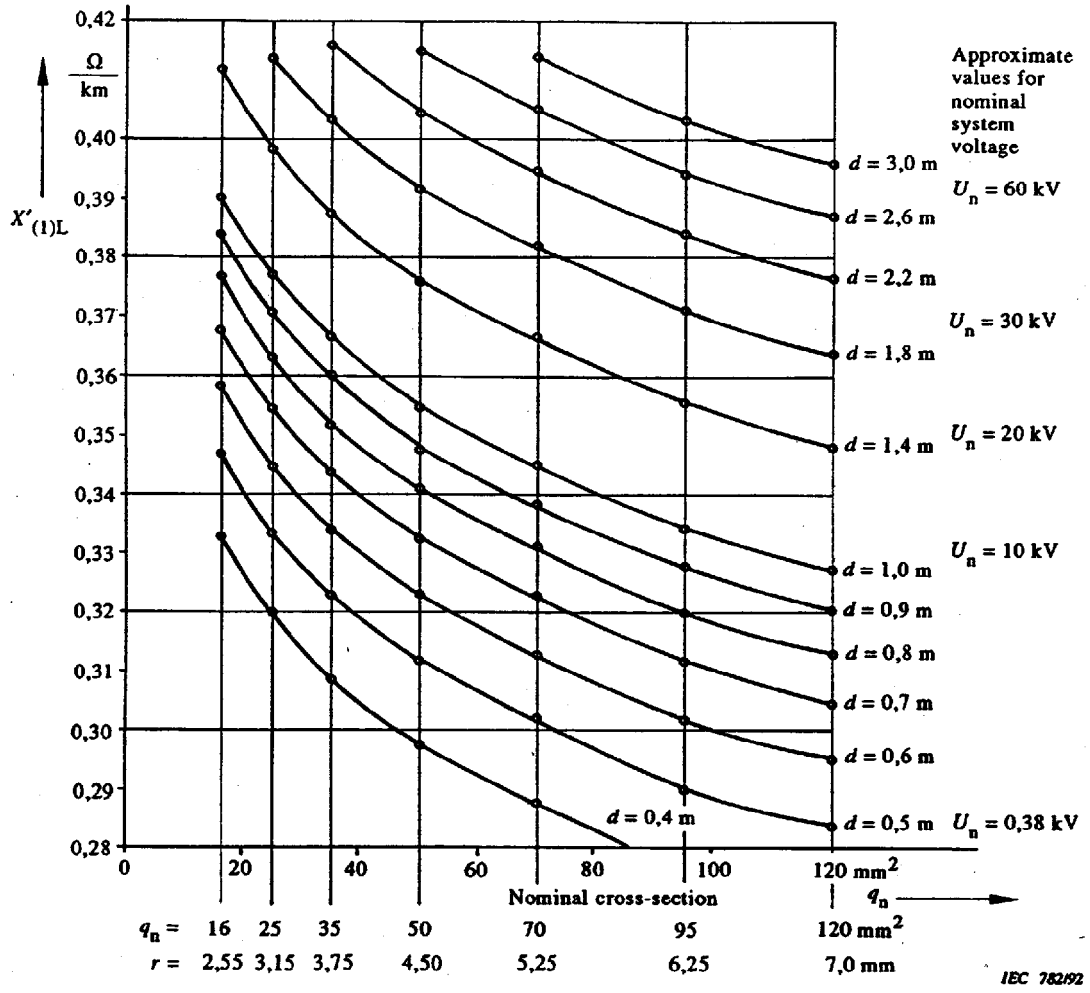


Valeurs calculées: $X'_{(1)L} = \omega \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{1}{4} + \ln \frac{d}{r} \right)$

avec $d = \sqrt[3]{d_{L1L2}\ d_{L1L3}\ d_{L2L3}}$

Figure 6 - Réactance directe $X'_{(1)L}$ de lignes aériennes basse et moyenne tension, 50 Hz, Cu ou Al. Pour 60 Hz, ces valeurs doivent être multipliées par 1,2

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:05 2007

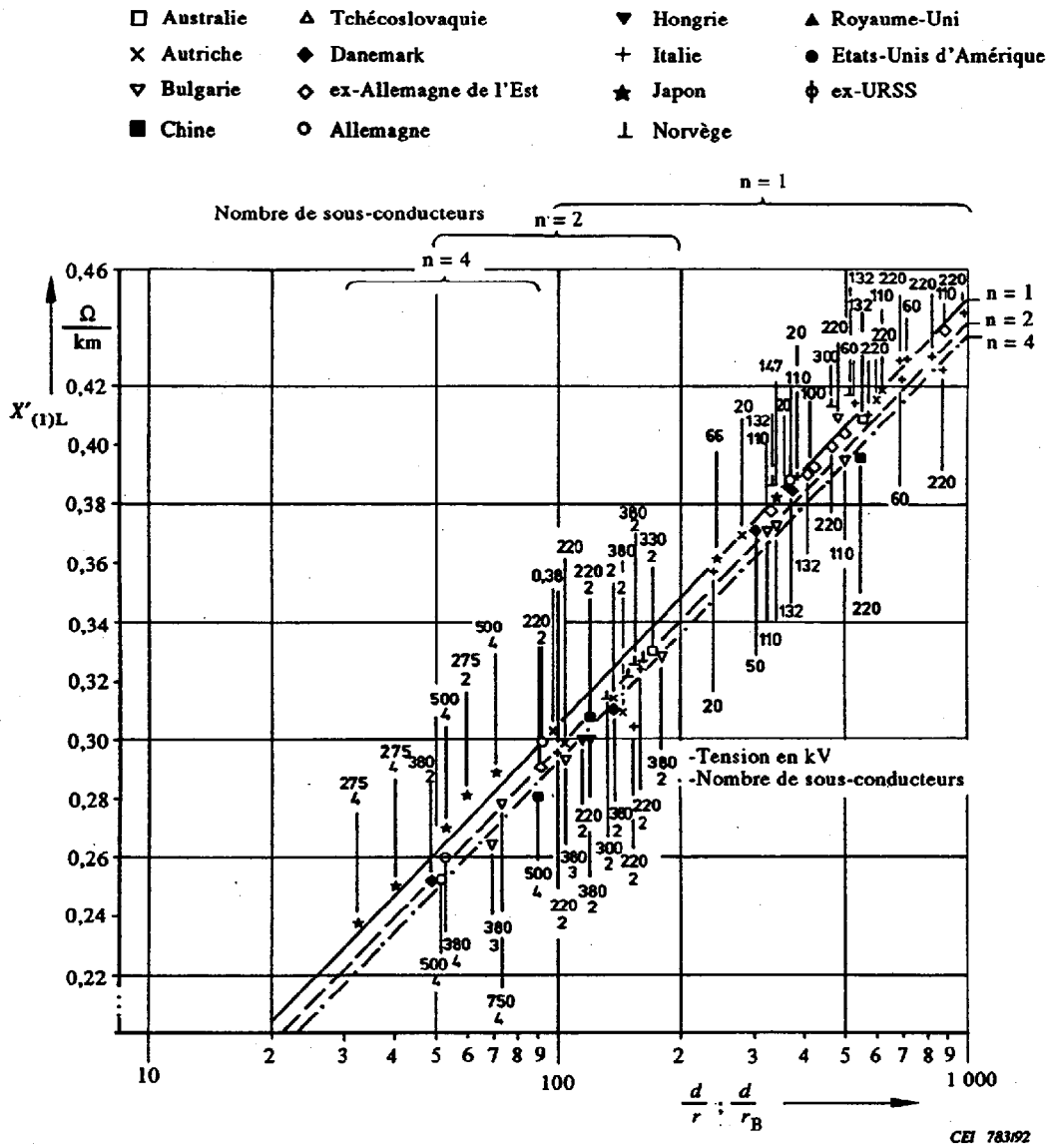


Calculated values: $X'_{(1)L} = \omega \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{1}{4} + \ln \frac{d}{r} \right)$

with $d = \sqrt[3]{d_{L1L2}\ d_{L1L3}\ d_{L2L3}}$

Figure 6 - Positive-sequence reactance $X'_{(1)L}$ of low-voltage and medium-voltage overhead lines 50 Hz, Cu or Al. For 60 Hz these values must be multiplied by 1,2

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:05 2007



Valeurs calculées:

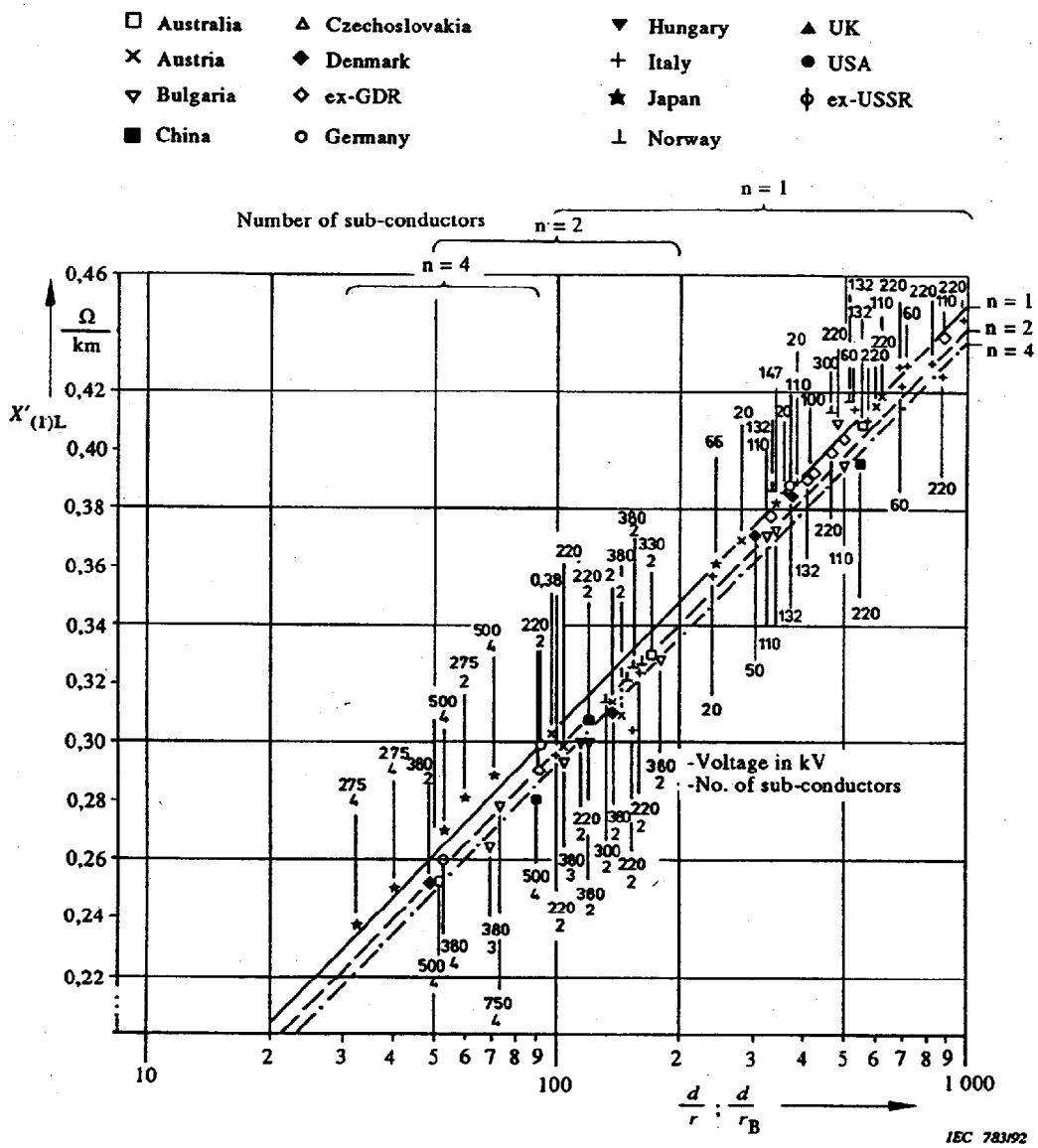
n = 1 $\quad X'_{(1)L} = \omega \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{1}{4n} + \ln \frac{d}{r_B}\right)$

n = 2 $\quad d = \sqrt[3]{d_{L1L2}\ d_{L1L3}\ d_{L2L3}}$

n = 4 $\quad r_B = \sqrt[n]{n r R^{n-1}}$

Figure 7 - Réactance directe $X'_{(1)L}$ de lignes aériennes 50 Hz (valeurs 60 Hz converties en 50 Hz)

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:05 2007



Calculated values:

——— n = 1 $X'_{(1)L} = \omega \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{1}{4n} + \ln \frac{d}{r_B}\right)$

– – – – – – – – n = 2 $d = \sqrt[3]{d_{L1L2}\ d_{L1L3}\ d_{L2L3}}$

– · – · – · – · – n = 4 $r_B = \sqrt[n]{n r R^{n-1}}$

Figure 7 - Positive-sequence reactance $X'_{(1)L}$ of overhead lines 50 Hz (60-Hz-values converted to 50 Hz)

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:05 2007

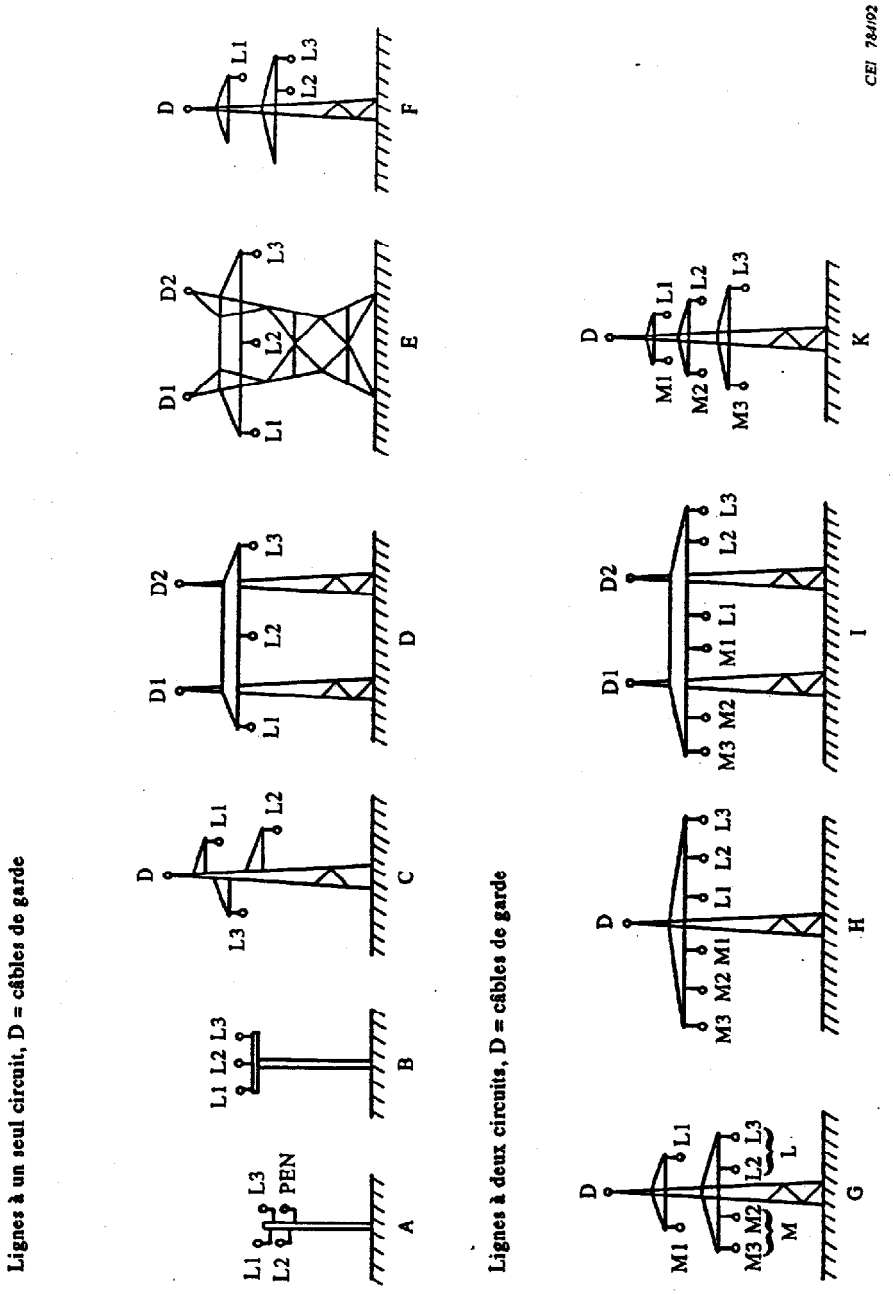


Figure 8 - Type de ligne

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:05 2007

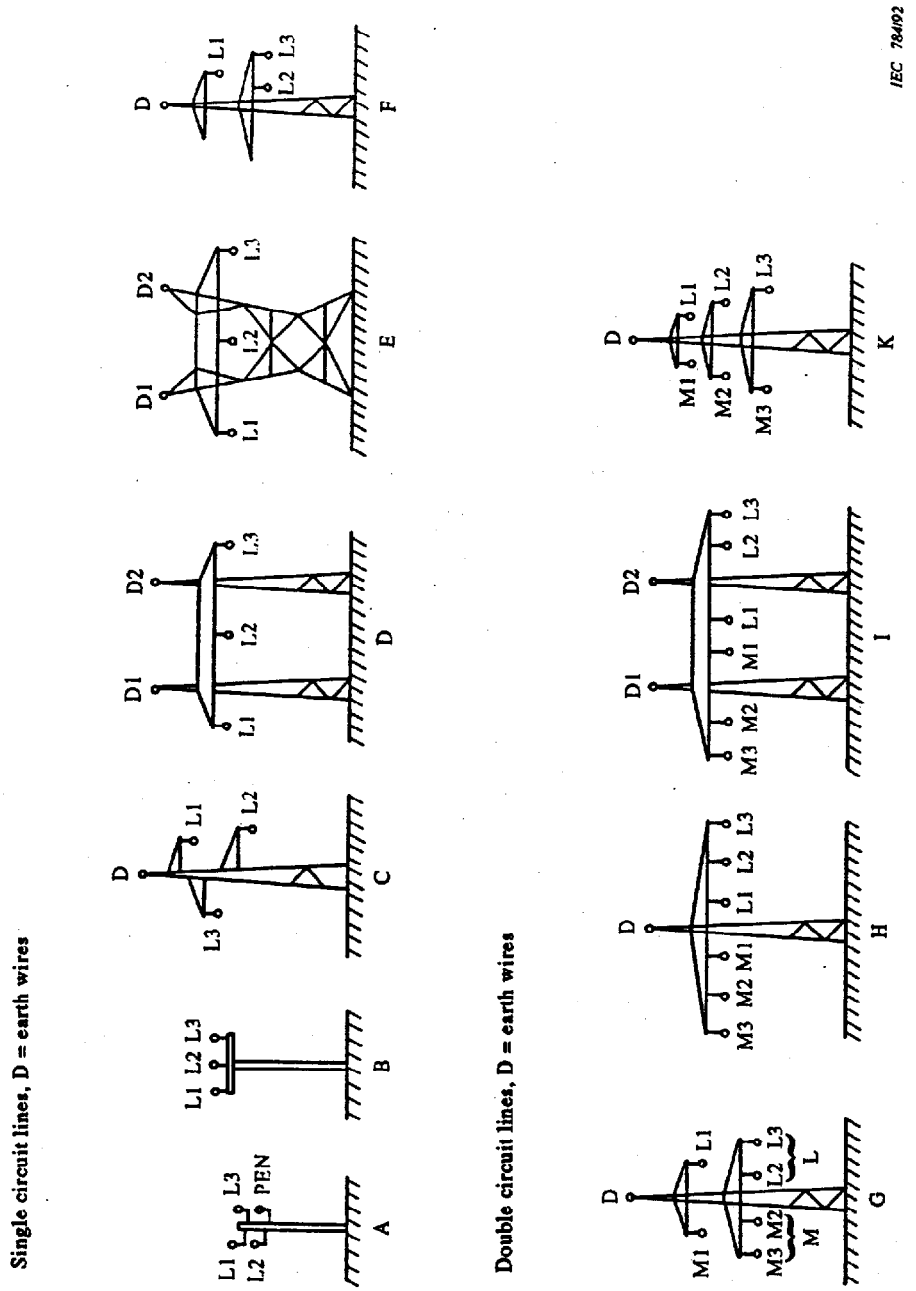


Figure 8 - Type of line

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:05 2007

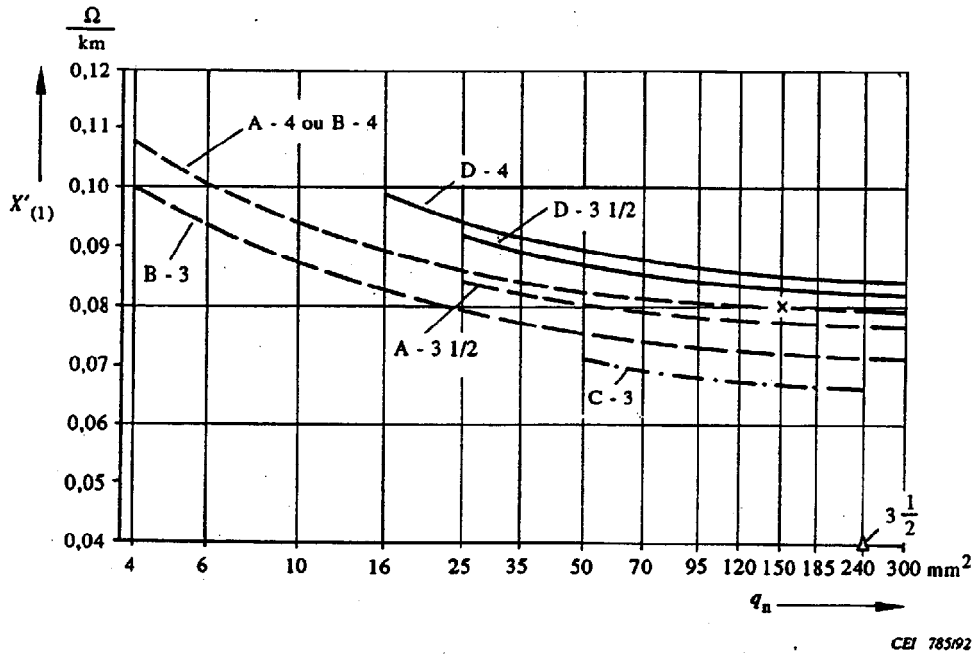


Figure 9 - Réactance directe $X'_{(1)}$ de câbles basse tension Cu ou Al, 50 Hz (Allemagne), pour différents types de câbles A, B, C, D, voir article 2.5. Câbles à trois, trois et demi et quatre conducteurs

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:06 2007

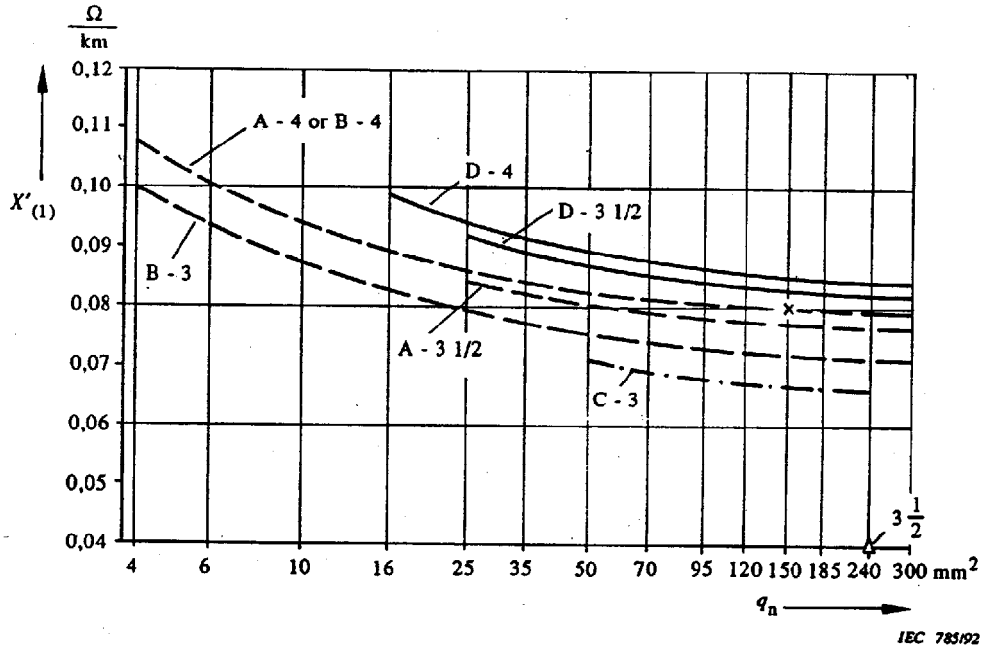
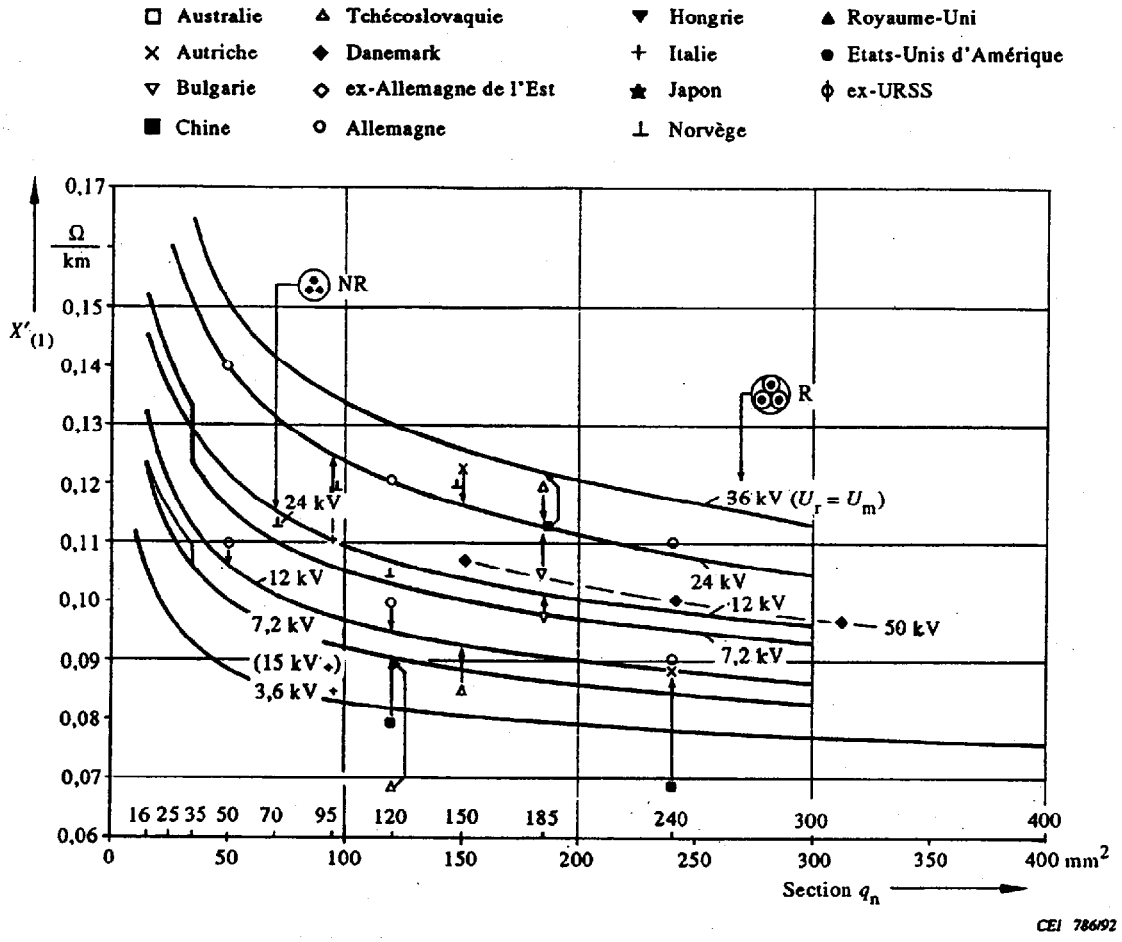


Figure 9 - Positive-sequence reactance $X'_{(1)}$ of low-voltage cables Cu or Al, 50 Hz (Germany), for different types of cables A, B, C, D, see clause 2.5. Three, three and a half and four conductor cables

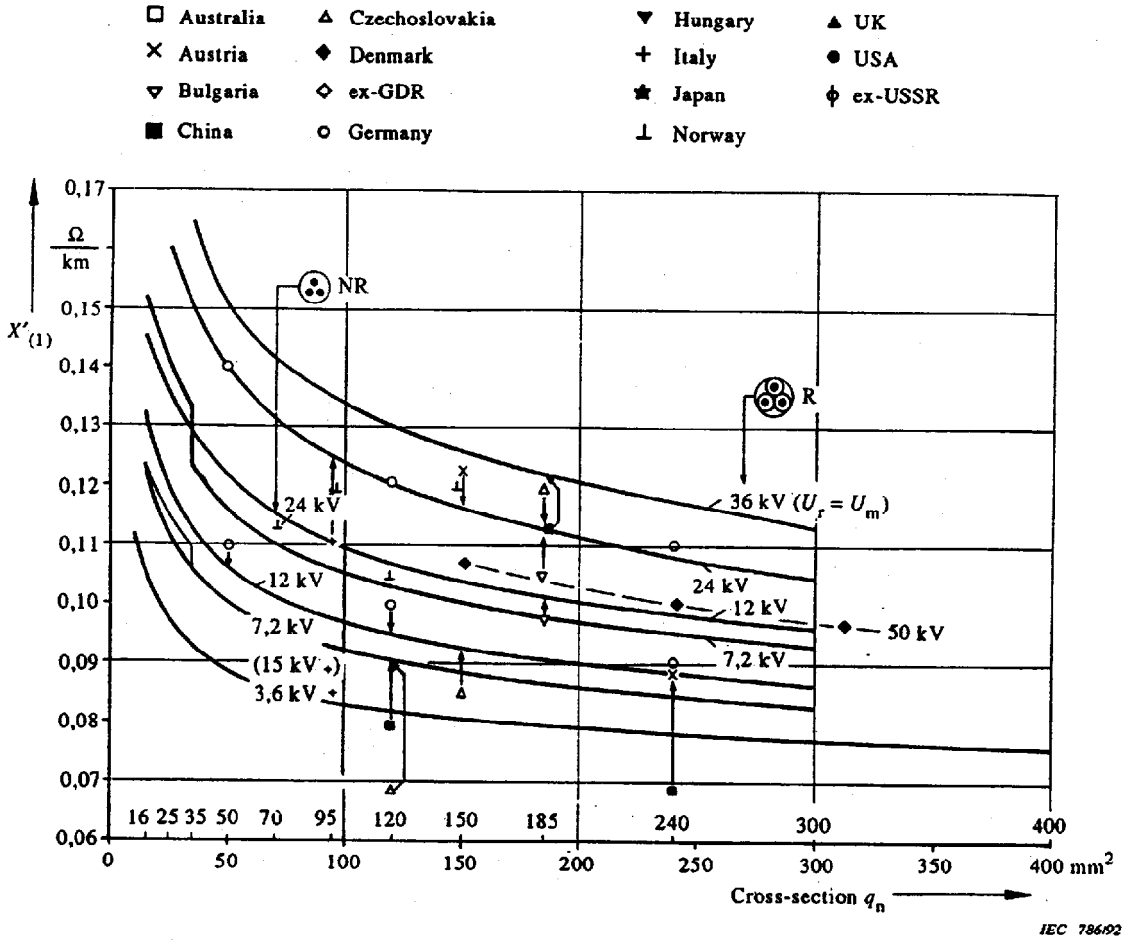
Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:06 2007



NR: **Câbles à champ non radial avec trois conducteurs.**
R: **Câbles à champ radial avec trois conducteurs.**

Figure 10 - Réactance directe $X'_{(1)}$ de câbles moyenne tension, 50 Hz

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:06 2007



NR: Non-radial field cables with three conductors.
R: Radial field cables with three conductors.

Figure 10 - Positive-sequence reactance $X'_{(1)}$ of medium-voltage cables, 50 Hz

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:06 2007

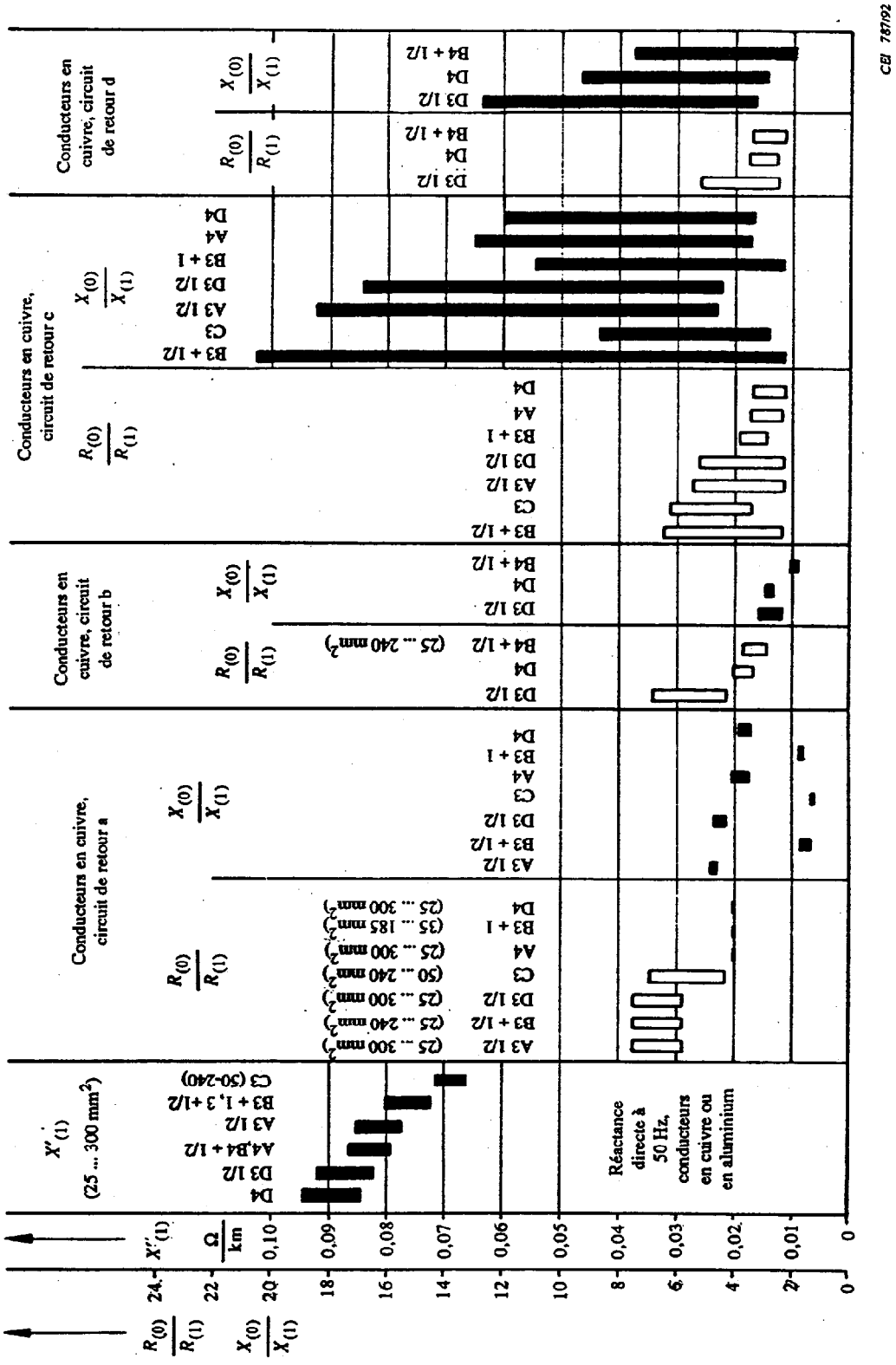


Figure 11 - Réactance directe $X'_{(1)}$ et rapports $R_{(0)}/R_{(1)}$ et $X_{(0)}/X_{(1)}$ pour des câbles basse tension 0,6/1 kV. Conducteurs en cuivre et circuits de retour a, b, c et d (voir article 2.5)

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:06 2007

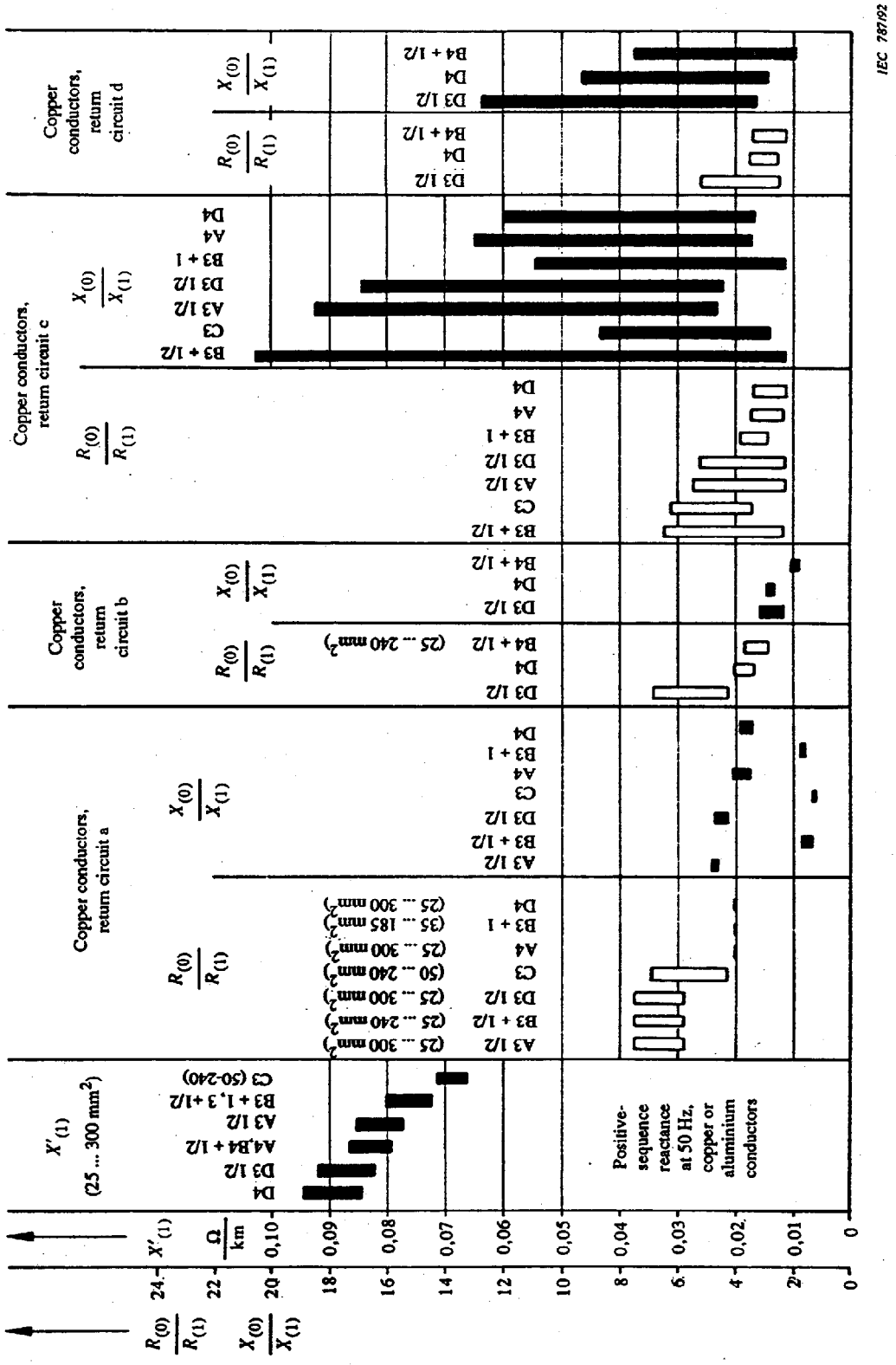


Figure 11 - Low-voltage cables 0,6/1 kV, positive-sequence reactance $X'_{(1)}$ and ratios $R_{(0)}/R_{(1)}$ and $X_{(0)}/X_{(1)}$. Copper conductors and return circuits a, b, c, d (see clause 2.5)

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:06 2007

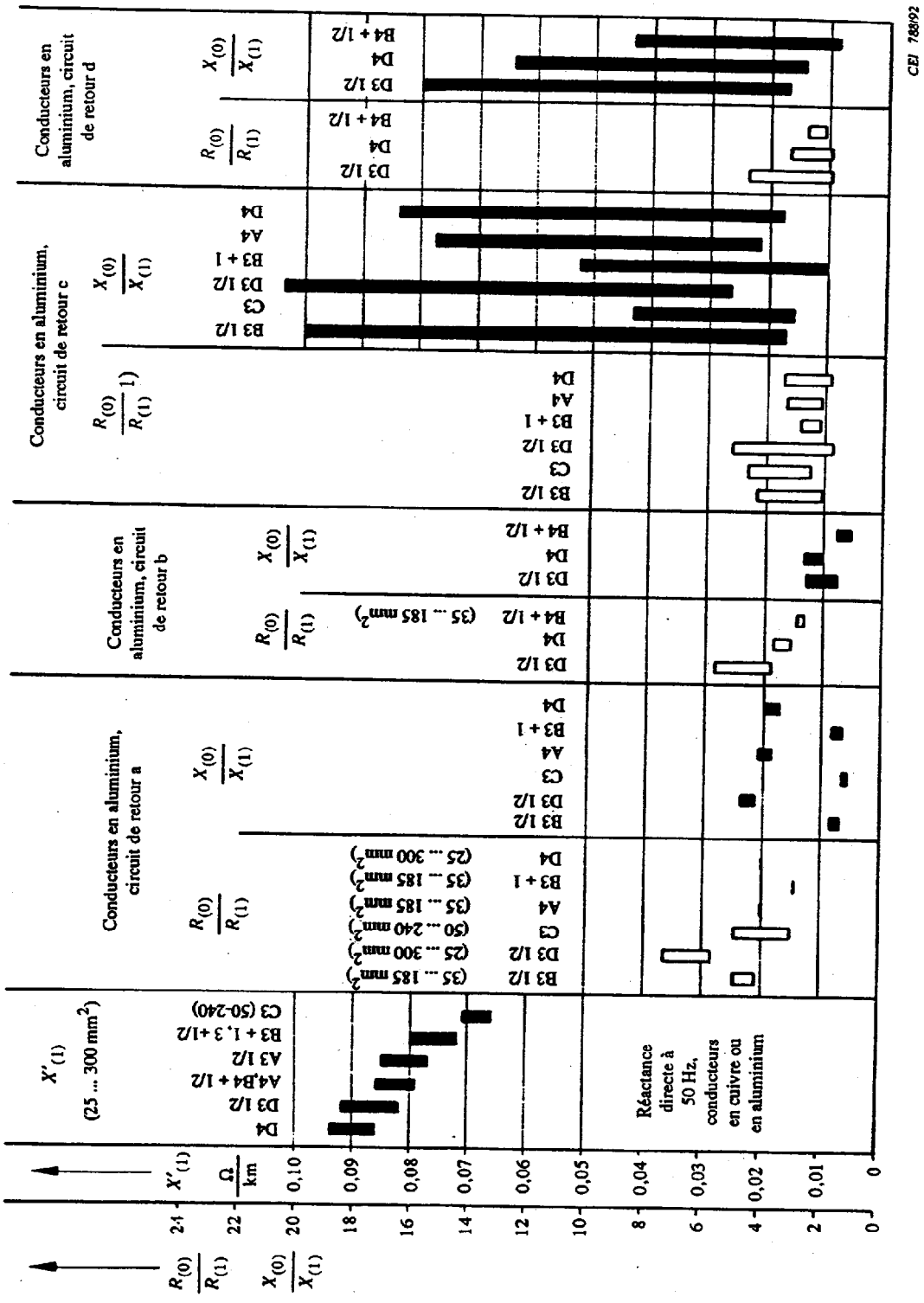


Figure 12 - Réactance directe $X'_{(1)}$ et rapports $R_{(0)}/R_{(1)}$ et $X_{(0)}/X_{(1)}$ pour des câbles basse tension 0,6/1 kV. Conducteurs en aluminium et circuits de retour a, b, c et d (voir article 2.5)

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:06 2007

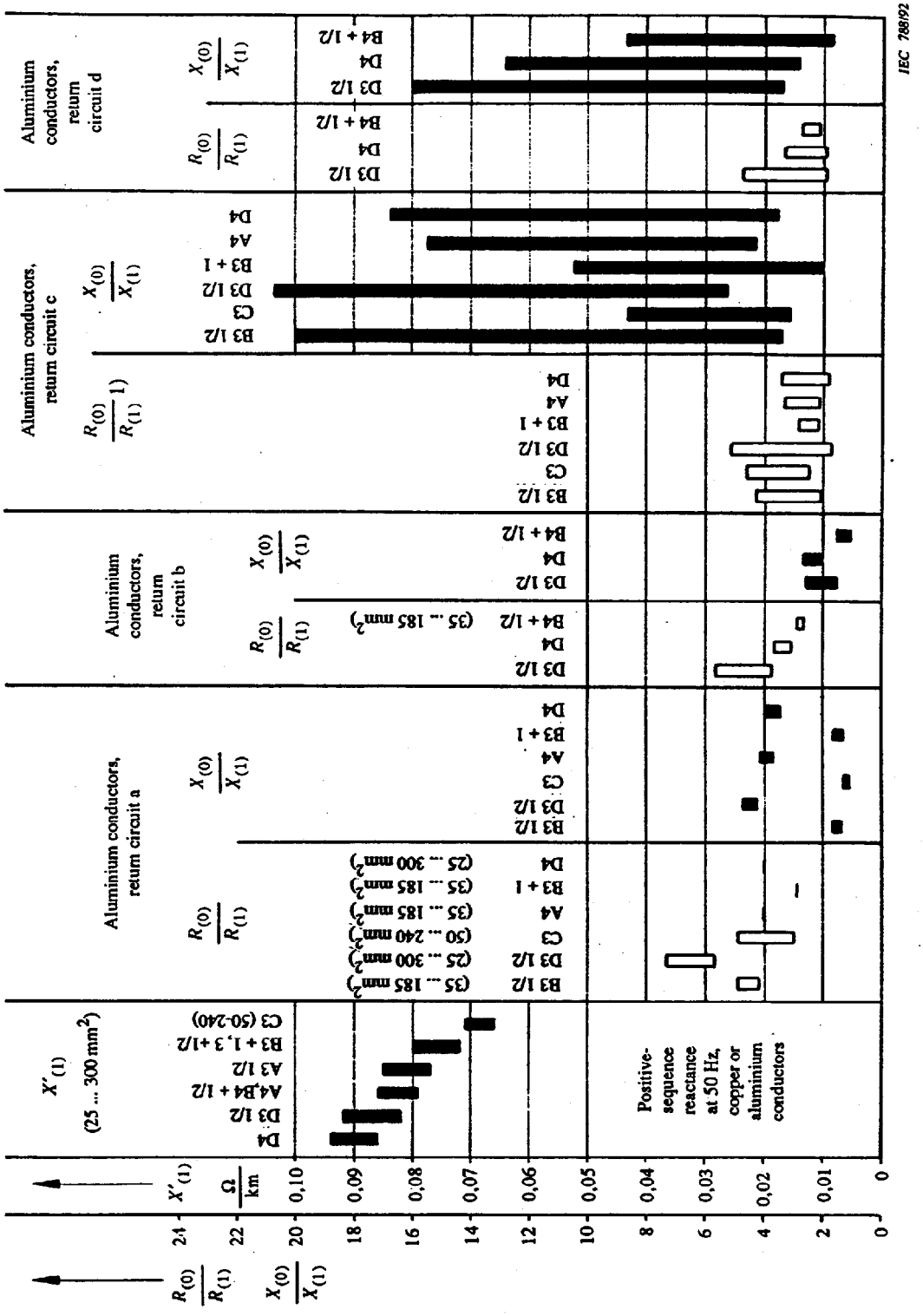
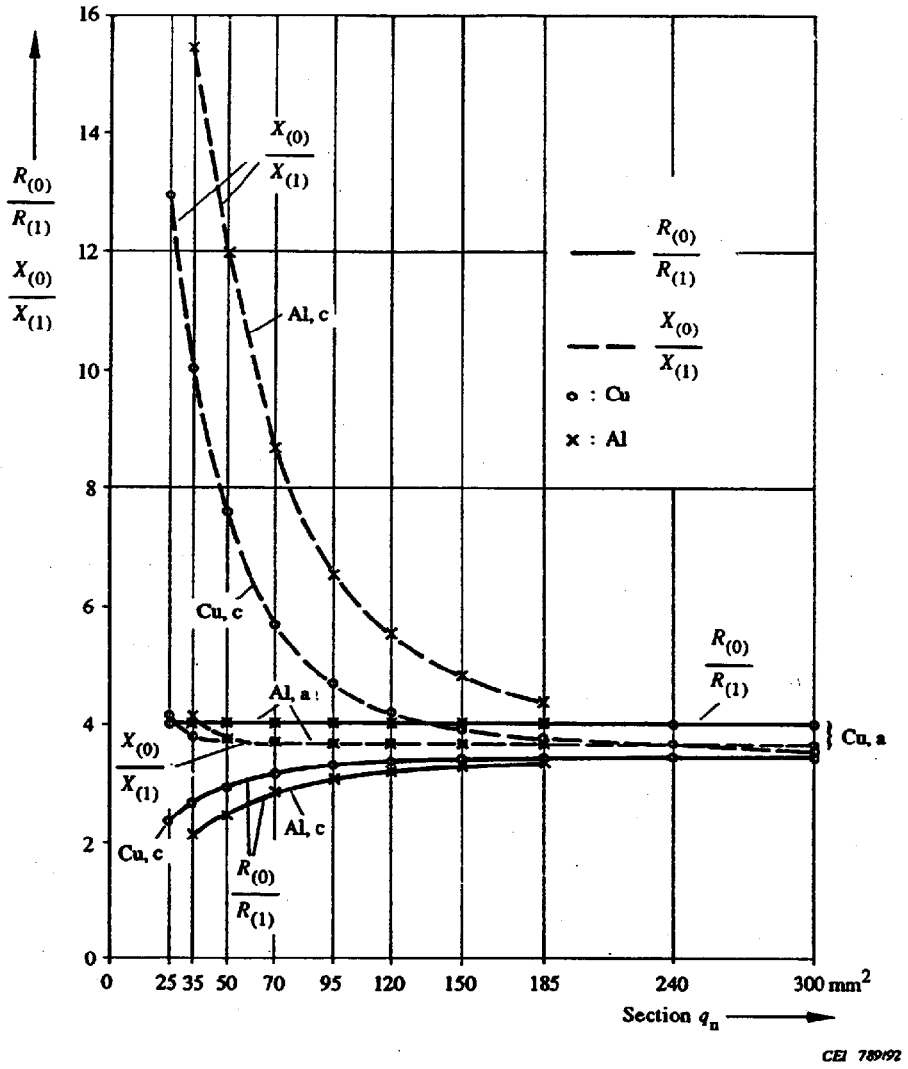


Figure 12 - Low-voltage cables 0,6/1 kV, positive-sequence reactance $X'_{(1)}$ and ratios $R_{(0)}/R_{(1)}$ and $X_{(0)}/X_{(1)}$. Aluminium conductors and return circuits a, b, c, d (see clause 2.5)

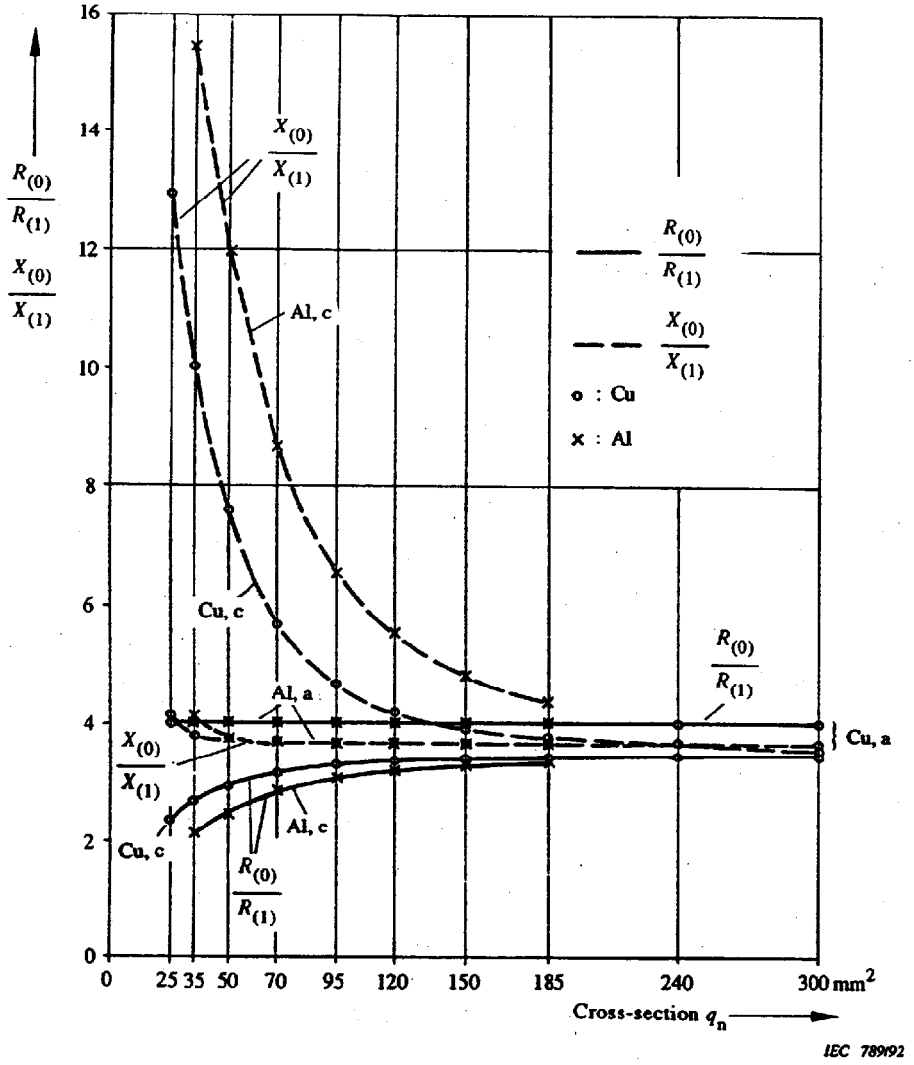
Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:06 2007



a: Circuit de retour par le quatrième conducteur.
c: Circuit de retour par le quatrième conducteur et la terre.

Figure 13 - Rapports $R_{(0)}/R_{(1)}$ et $X_{(0)}/X_{(1)}$ pour des câbles basse tension 0,6/1 kV, type A, avec quatre conducteurs Cu ou Al (Allemagne)

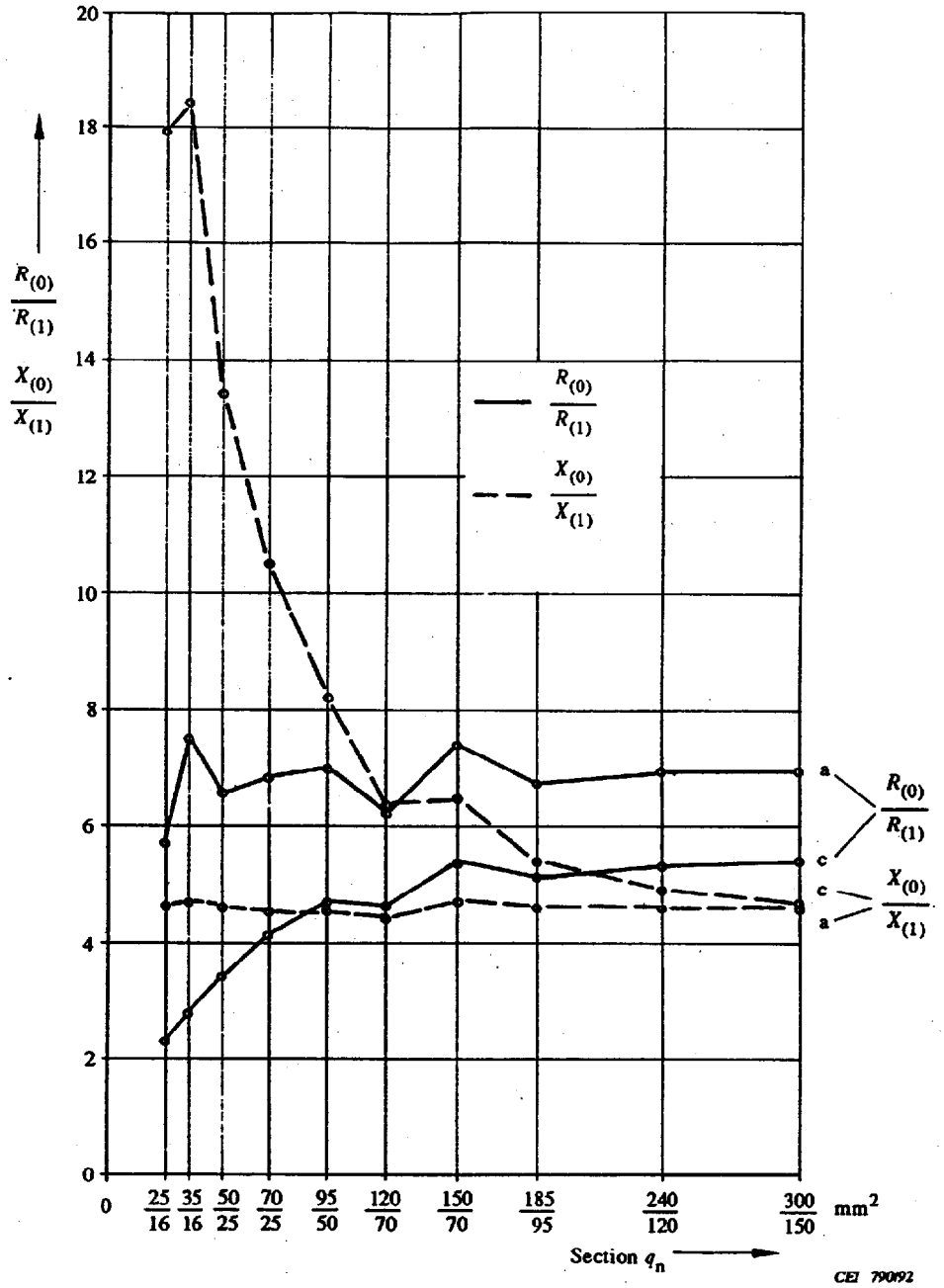
Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:06 2007



a: Return circuit by fourth conductor.
c: Return circuit by fourth conductor and earth.

Figure 13 - Low-voltage cables 0,6/1 kV, type A, with four conductors Cu or Al (Germany), $R_{(0)}/R_{(1)}$, $X_{(0)}/X_{(1)}$

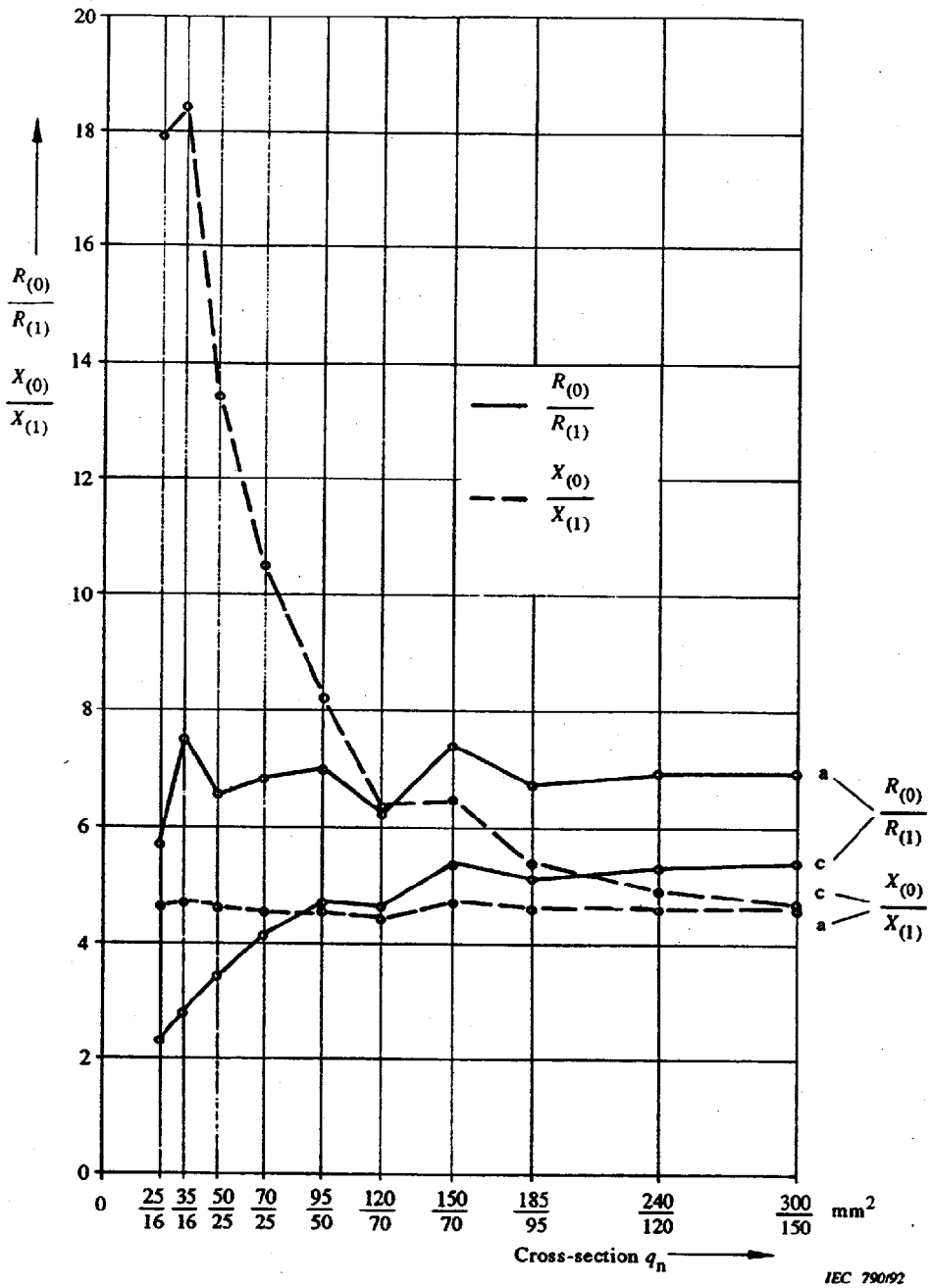
Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:06 2007



a: Circuit de retour par le quatrième conducteur.
c: Circuit de retour par le quatrième conducteur et la terre.

Figure 14 - Rapports $R_{(0)}/R_{(1)}$ et $X_{(0)}/X_{(1)}$ pour des câbles basse tension 0,6/1 kV, type A, avec trois conducteurs et demi en cuivre (Allemagne)

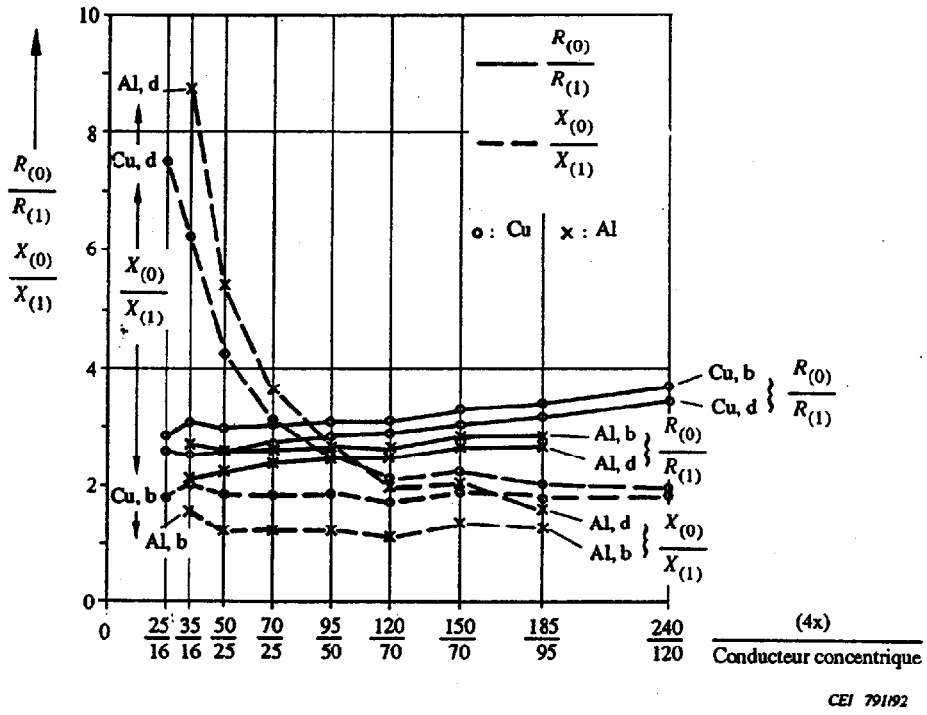
Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:06 2007



a: Return circuit by fourth conductor.
c: Return circuit by fourth conductor and earth.

Figure 14 - Low-voltage cables 0,6/1 kV, type A, with three and a half copper conductors (Germany), $R_{(0)}/R_{(1)}$, $X_{(0)}/X_{(1)}$

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:06 2007

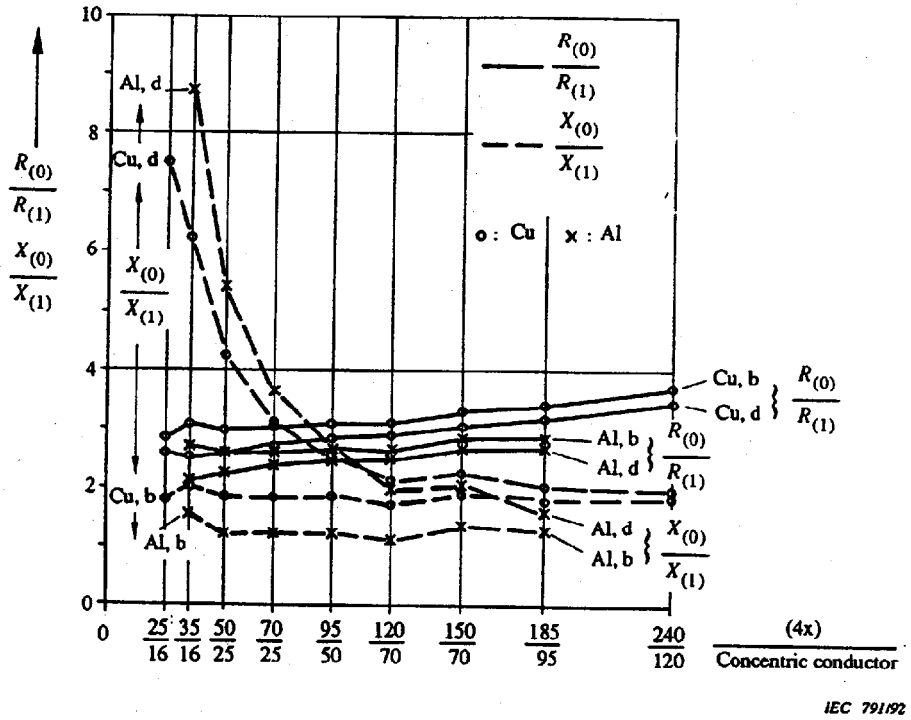


b: Circuit de retour par le quatrième conducteur et le conducteur concentrique.

d: Circuit de retour par le quatrième conducteur, le conducteur concentrique et la terre.

Figure 15 - Rapports $R_{(0)}/R_{(1)}$ et $X_{(0)}/X_{(1)}$ pour des câbles basse tension 0,6/1 kV, type B, avec quatre conducteurs Cu ou Al et un conducteur concentrique Cu (Allemagne)

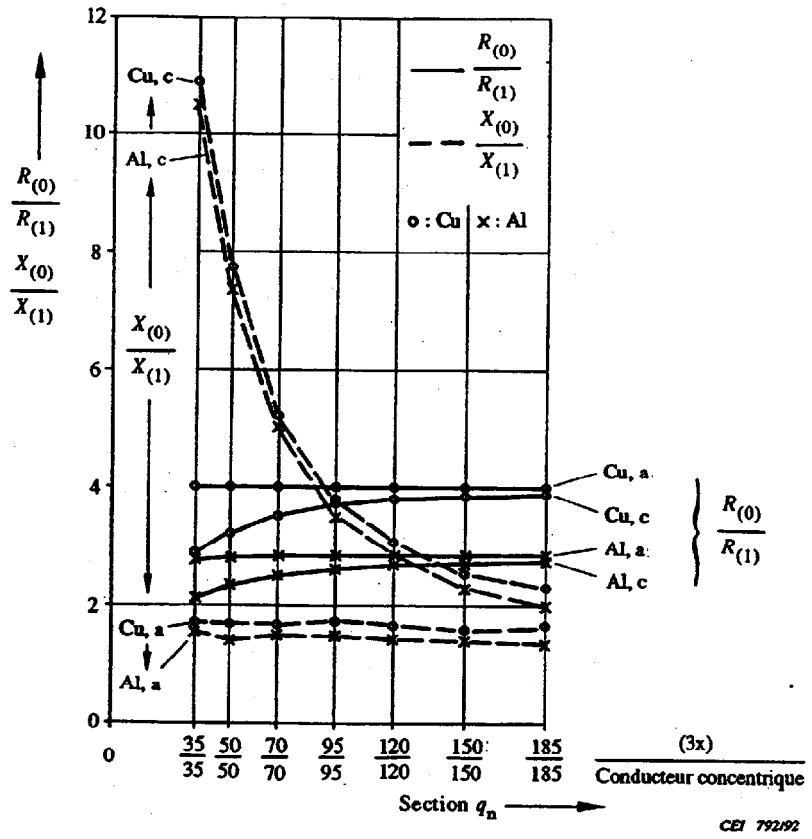
Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:06 2007



b: Return circuit by fourth conductor and concentric conductor.
d: Return circuit by fourth conductor, concentric conductor and earth.

Figure 15 - Low-voltage cables 0,6/1 kV, type B, with four conductors Cu or Al and a concentric conductor Cu (Germany), $R_{(0)}/R_{(1)}$, $X_{(0)}/X_{(1)}$

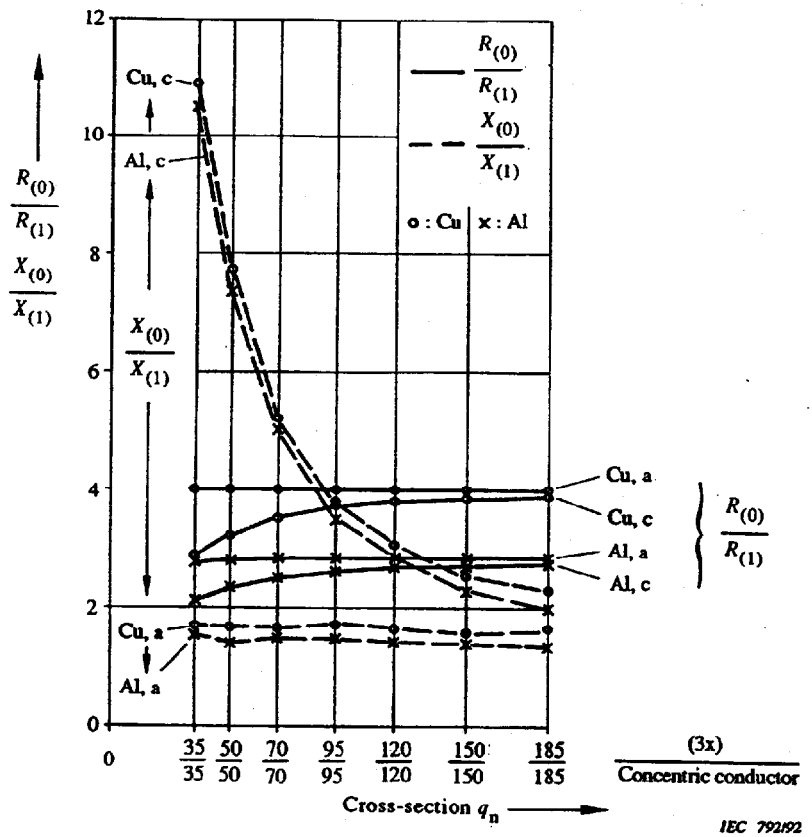
Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:06 2007



a: Circuit de retour par le conducteur concentrique.
c: Circuit de retour par le conducteur concentrique et la terre.

Figure 16 - Rapports $R_{(0)}/R_{(1)}$ et $X_{(0)}/X_{(1)}$ pour des câbles basse tension 0,6/1 kV, type B, avec trois conducteurs Cu ou Al et un conducteur concentrique Cu de même section que le conducteur principal (Allemagne)

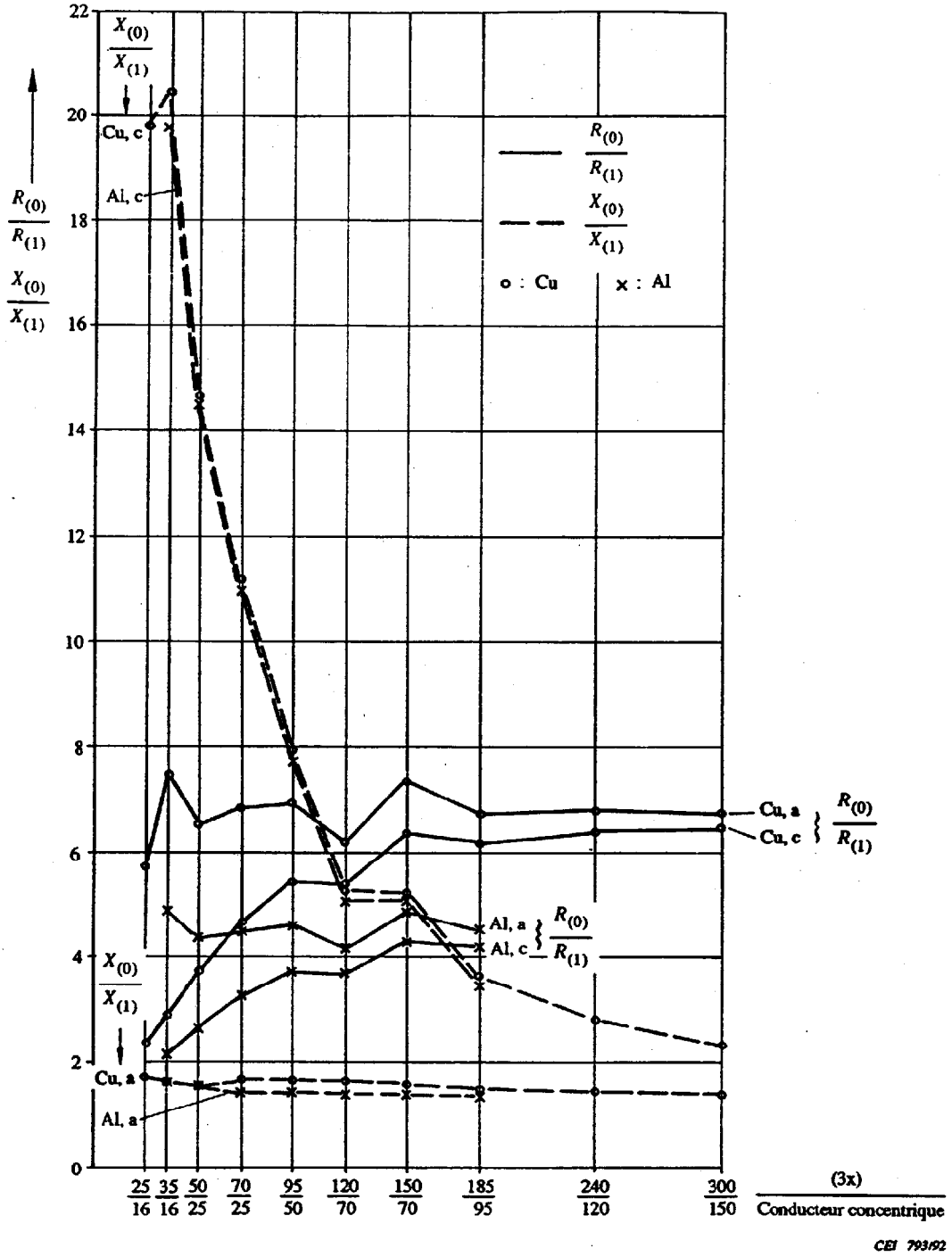
Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:06 2007



a: Return circuit by concentric conductor.
c: Return circuit by concentric conductor and earth.

Figure 16 - Low-voltage cables 0,6/1 kV, type B, with three conductors Cu or Al and a concentric conductor Cu (Germany), $R_{(0)}/R_{(1)}$, $X_{(0)}/X_{(1)}$. The concentric conductor has the same cross-section as the main conductor

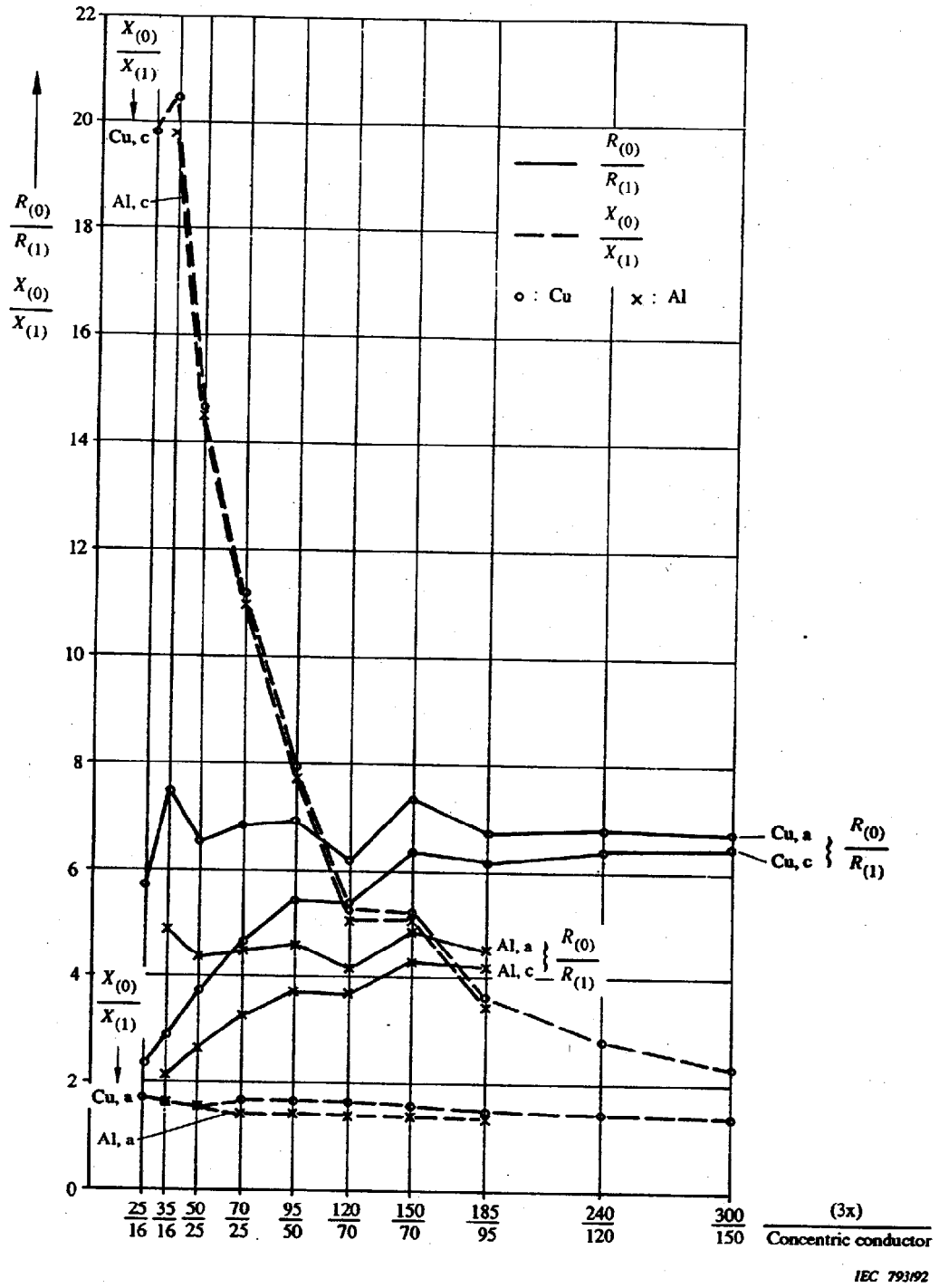
Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:06 2007



a: Circuit de retour par le conducteur concentrique.
c: Circuit de retour par le conducteur concentrique et la terre.

Figure 17 - Rapports $R_{(0)}/R_{(1)}$ et $X_{(0)}/X_{(1)}$ pour des câbles basse tension 0,6/1 kV, type B, avec trois conducteurs Cu ou Al et un conducteur concentrique Cu d'une section de la moitié de celle du conducteur principal (Allemagne)

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:06 2007

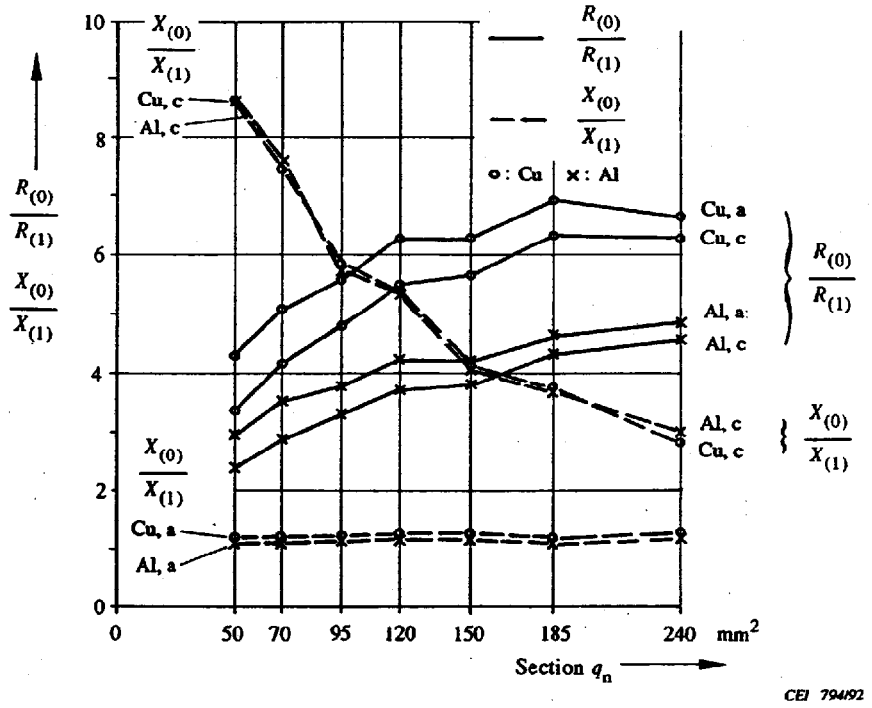


a: Return circuit by concentric conductor.

c: Return circuit by concentric conductor and earth.

Figure 17 - Low-voltage cables 0,6/1 kV, type B, with three conductors Cu or Al and a concentric conductor Cu (Germany), $R_{(0)}/R_{(1)}$, $X_{(0)}/X_{(1)}$. The concentric conductor has half the cross-section of the main conductor

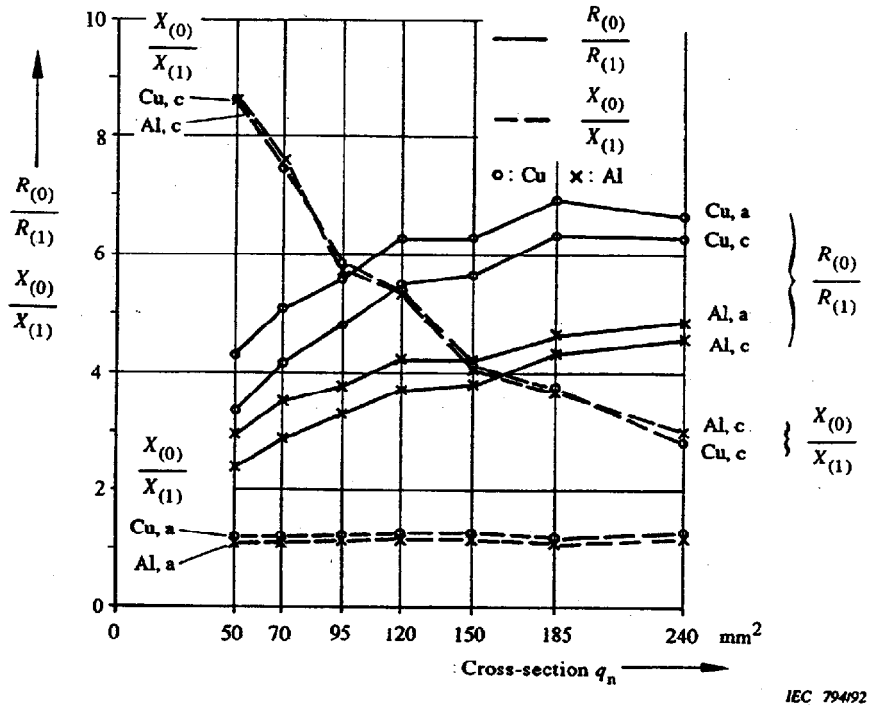
Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:06 2007



a: Circuit de retour par la gaine.
c: Circuit de retour par la gaine et la terre.

Figure 18 - Rapports $R_{(0)}/R_{(1)}$ et $X_{(0)}/X_{(1)}$ pour des câbles basse tension 0,6/1 kV, type C, avec trois conducteurs Cu ou Al et une gaine en aluminium (Allemagne)

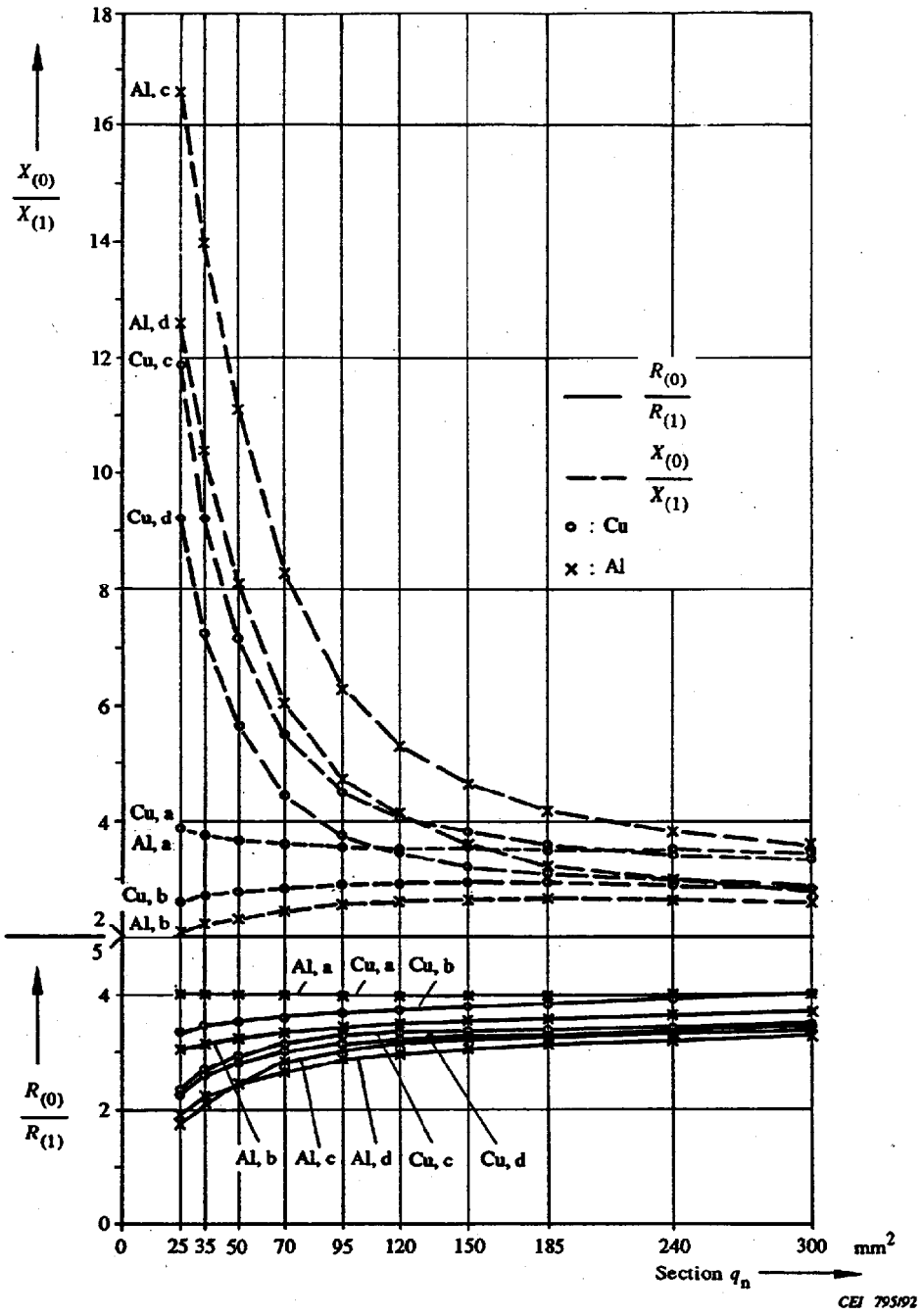
Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:07 2007



a: Return circuit by sheath.
c: Return circuit by sheath and earth.

Figure 18 - Low-voltage cables 0,6/1 kV, type C, with three conductors Cu or Al and an aluminium sheath (Germany), $R_{(0)}/R_{(1)}$, $X_{(0)}/X_{(1)}$

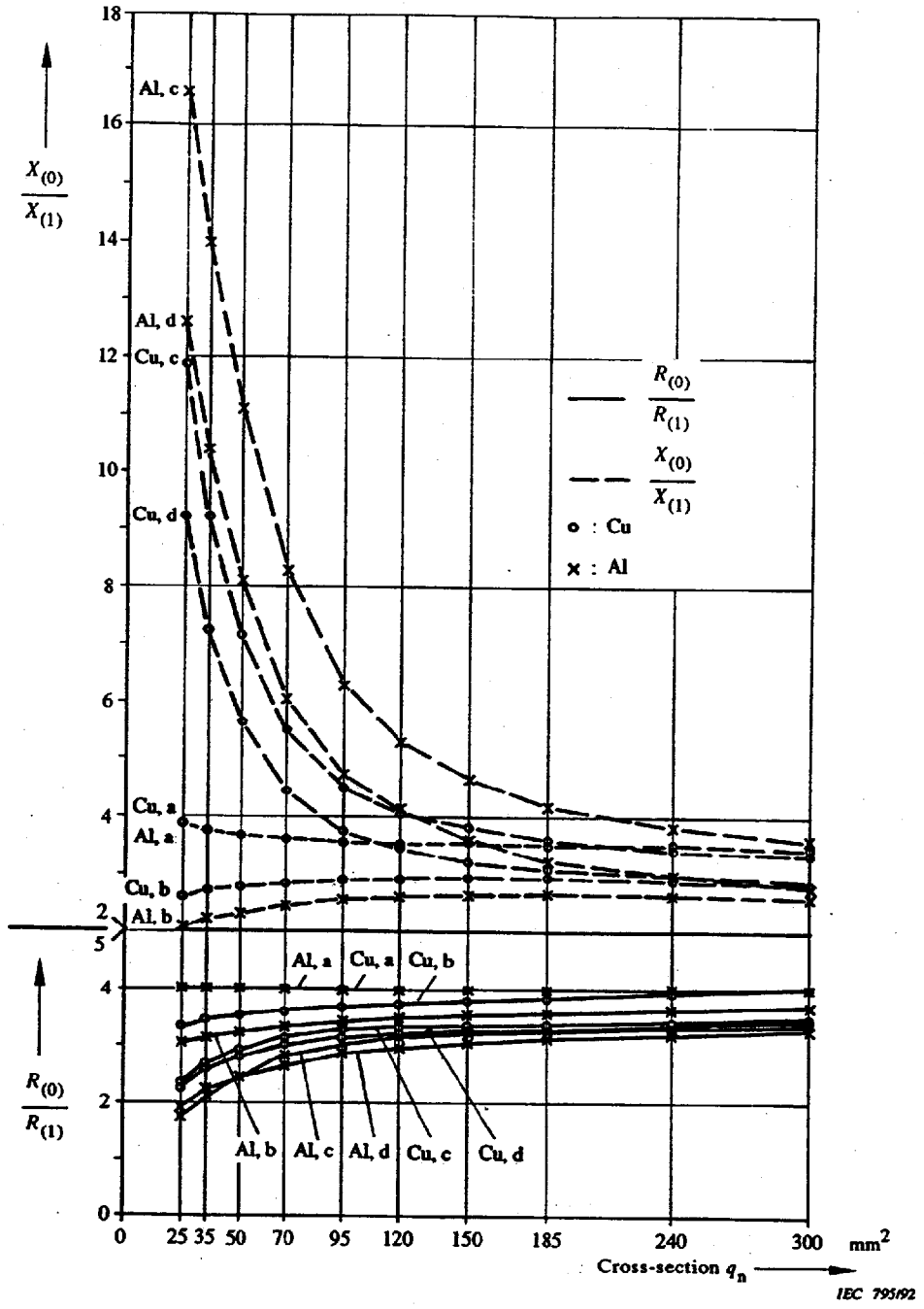
Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:07 2007



a: Circuit de retour par le quatrième conducteur.
b: Circuit de retour par le quatrième conducteur et la gaine.
c: Circuit de retour par le quatrième conducteur et la terre.
d: Circuit de retour par le quatrième conducteur, la gaine et la terre.

Figure 19 - Rapports $R_{(0)}/R_{(1)}$ et $X_{(0)}/X_{(1}$ pour des câbles basse tension 0,6/1 kV, type D, avec quatre conducteurs Cu ou Al et une gaine en plomb avec une armure en acier (Allemagne)

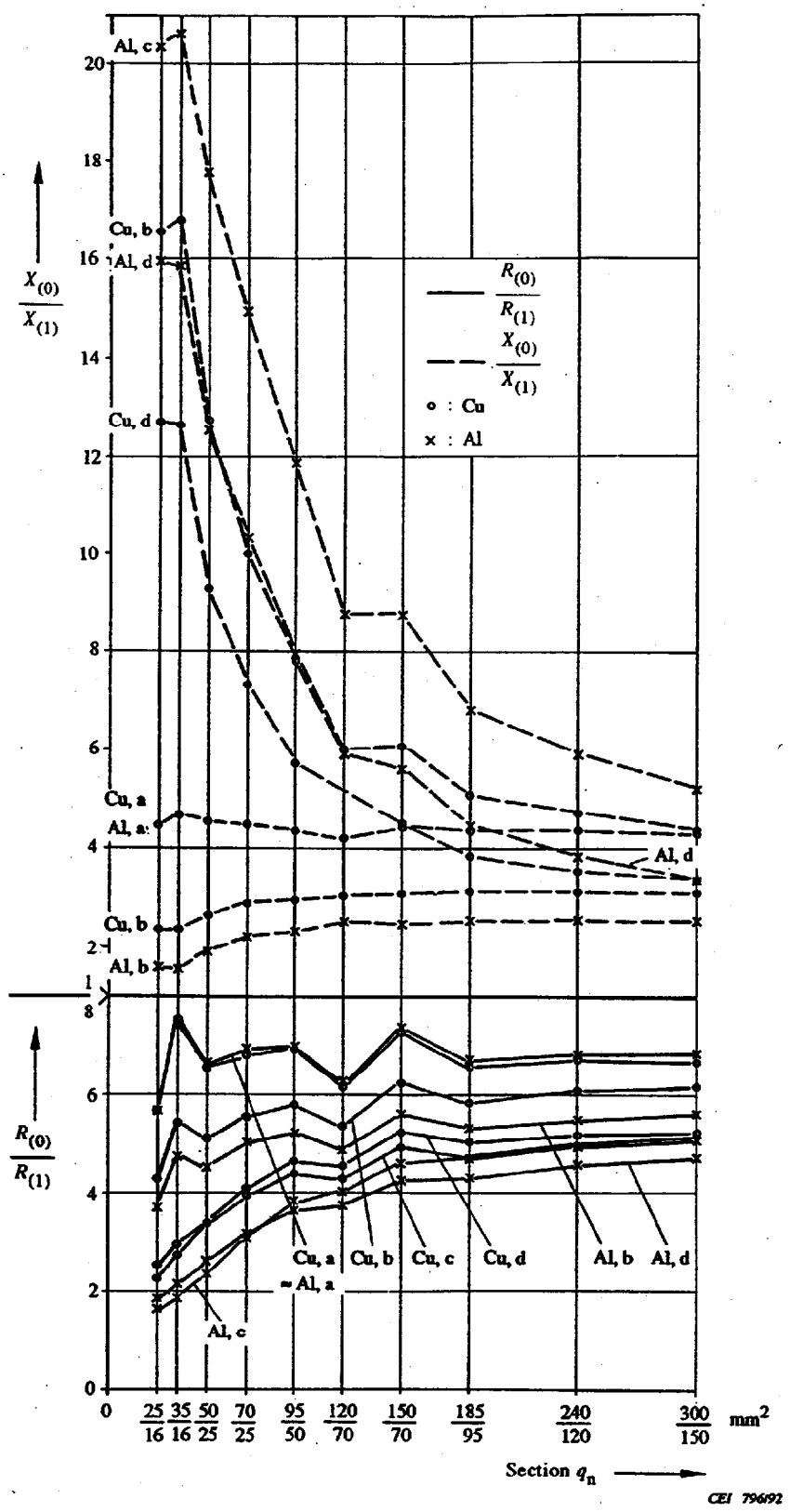
Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:07 2007



a: Return circuit by fourth conductor.
b: Return circuit by fourth conductor and sheath.
c: Return circuit by fourth conductor and earth.
d: Return circuit by fourth conductor, sheath and earth.

Figure 19 - Low-voltage cables 0,6/1 kV, type D, with four conductors Cu or Al and a lead sheath with steel armouring (Germany), $R_{(0)}/R_{(1)}$, $X_{(0)}/X_{(1)}$

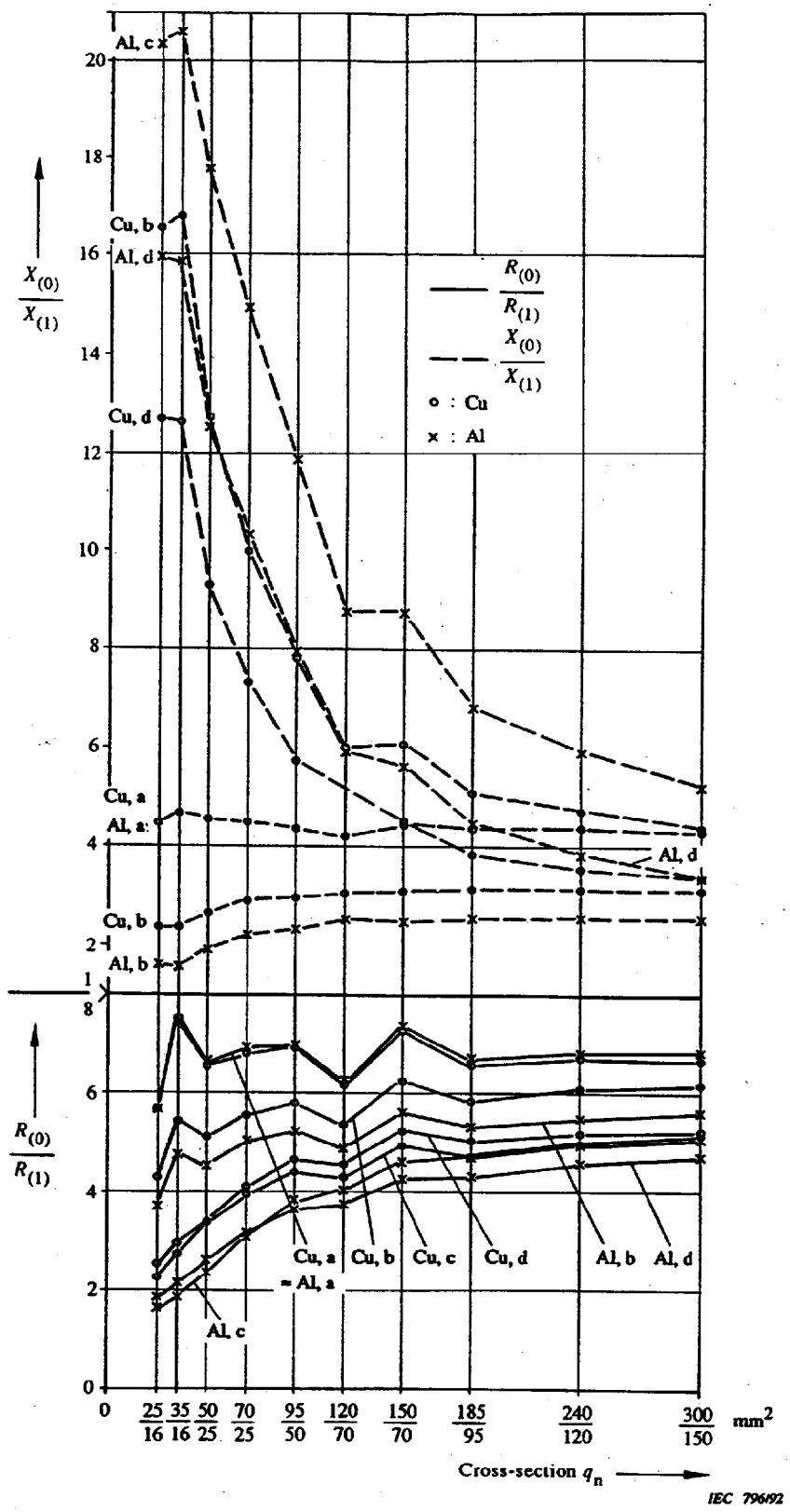
Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:07 2007



a, b, c et d comme sur la figure 19.

Figure 20 - Rapports $R_{(0)}/R_{(1)}$ et $X_{(0)}/X_{(1)}$ pour des câbles basse tension 0,6/1 kV, type D, avec trois conducteurs et demi Cu ou Al et une gaine en plomb avec une armure en acier (Allemagne)

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:07 2007



a, b, c, d as in figure 19.

Figure 20 - Low-voltage cables 0,6/1 kV, type D, with three and a half conductors Cu or Al and a lead sheath with steel armouring (Germany), $R_{(0)}/R_{(1)}$, $X_{(0)}/X_{(1)}$

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:07 2007

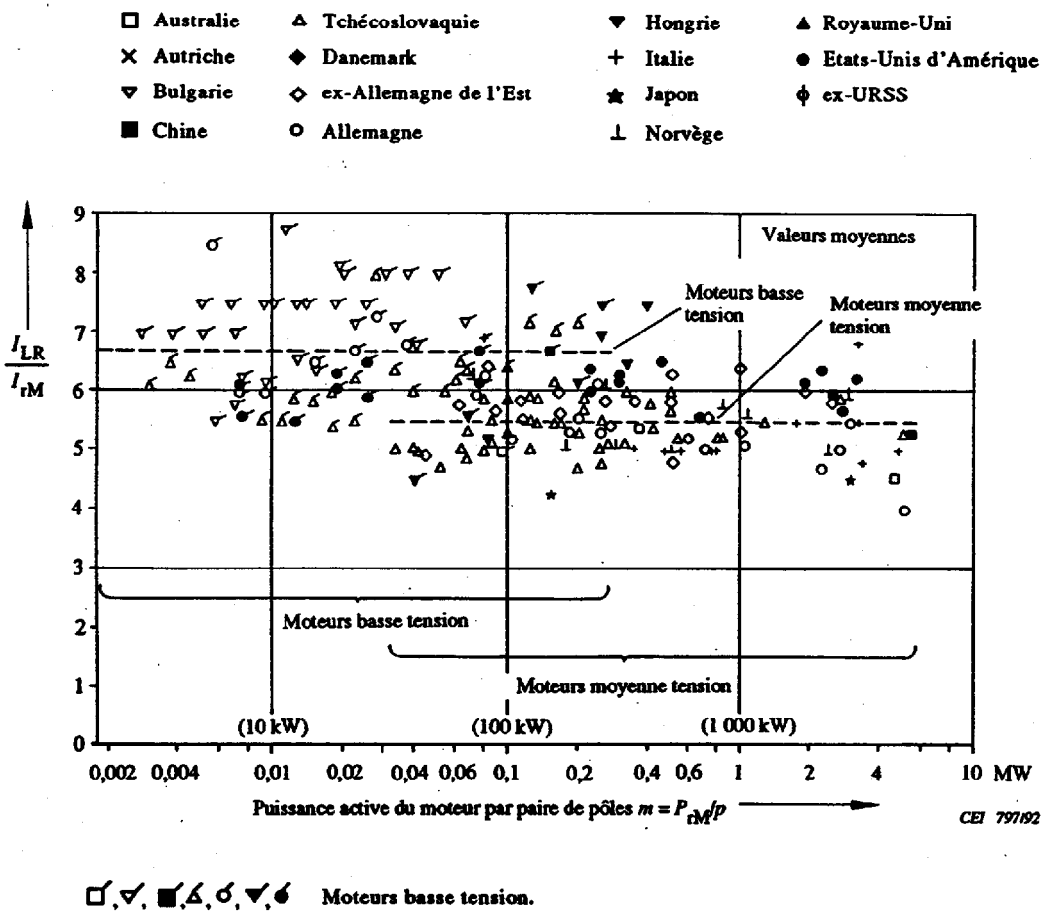
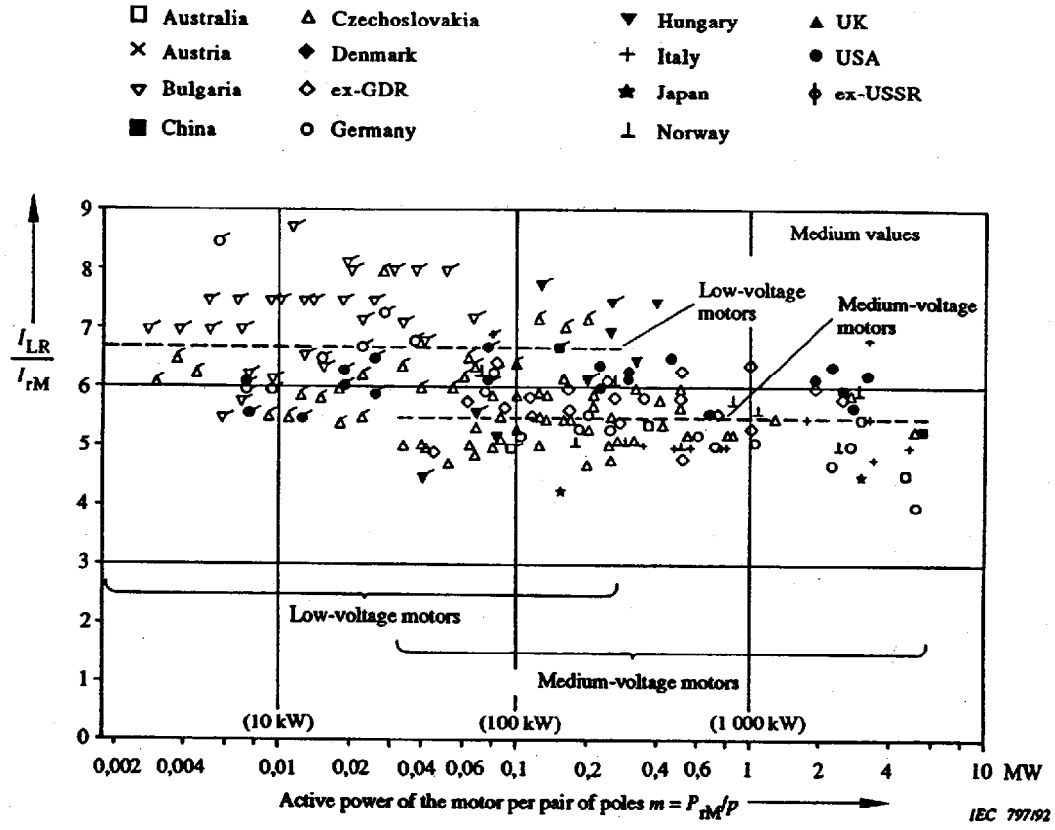


Figure 21 - Courant à rotor bloqué I_{LR}/I_{rM} de moteurs asynchrones basse et moyenne tension, 50 Hz et 60 Hz

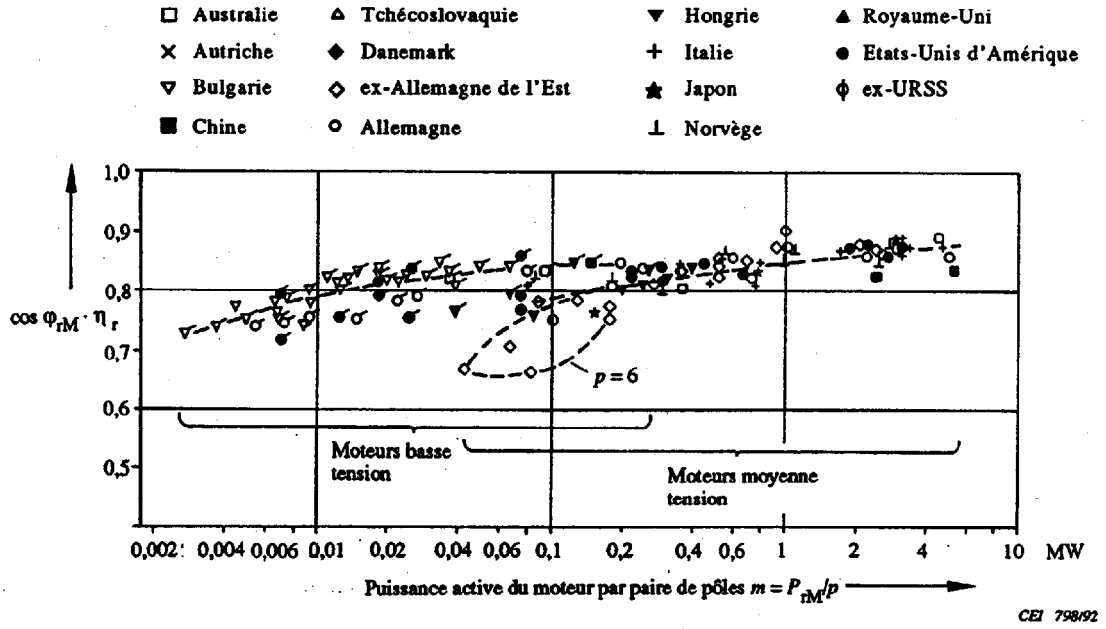
Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:07 2007



Low-voltage motors.

Figure 21 - Locked-rotor currents I_{LR}/I_{rM} of low-voltage and medium-voltage asynchronous motors, 50 Hz and 60 Hz

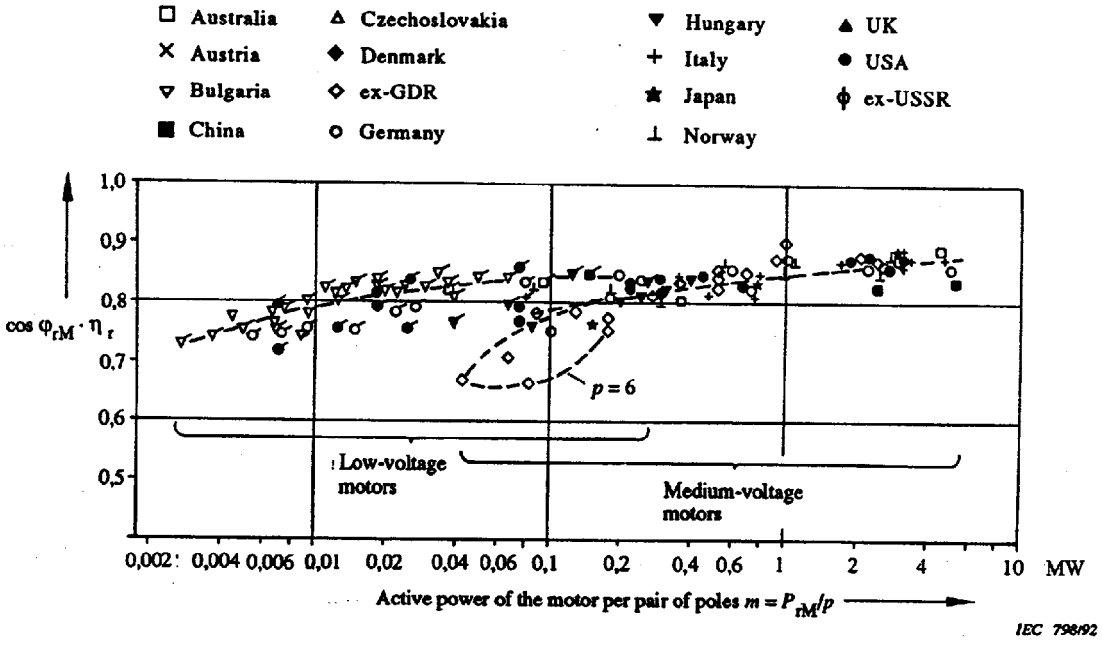
Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:07 2007



□, ▽, ■, △, ○, ▼, ● Moteurs basse tension.

Figure 22 - Produit cos $\varphi_{rM} \cdot \eta_r$ pour des moteurs asynchrones basse et moyenne tension, 50 Hz et 60 Hz

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:07 2007



Low-voltage motors.

Figure 22 - Product $\cos \varphi_{rM} \cdot \eta_r$ of low-voltage and medium-voltage asynchronous motors, 50 Hz and 60 Hz

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:07 2007

Publications de la CEI préparées par le Comité d'Etudes n° 73

781 (1989)	Guide d'application pour le calcul des courants de court-circuit dans les réseaux à basse tension radiaux.
865 (1986)	Calcul des effets des courants de court-circuit.
909 (1988)	Calcul des courants de court-circuit dans les réseaux triphasés à courant alternatif.
909-1 (1991)	Partie 1: Facteurs pour le calcul des courants de court-circuit dans les réseaux alternatifs triphasés conformément à la CEI 909.
909-2 (1992)	Matériel électrique – Données pour le calcul des courants de court-circuit conformément à la CEI 909 (1988).

IEC publications prepared by Technical Committee No. 73

781 (1989)	Application guide for calculation of short-circuit currents in low-voltage radial systems.
865 (1986)	Calculation of the effects of short-circuit currents.
909 (1988)	Short-circuit current calculation in three-phase a.c. systems.
909-1 (1991)	Part 1: Factors for the calculation of short-circuit currents in three-phase a.c. systems according to IEC 909.
909-2 (1992)	Electrical equipment – Data for short-circuit current calculations in accordance with IEC 909 (1988)

Copyright by the International Electrotechnical Commission
Tue Dec 18 13:18:07 2007