

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

IEC STANDARD

Modification N° 3

Décembre 1977
à la

Amendment No. 3

December 1977
to

Publication 287
1969

**Calcul du courant admissible dans les câbles en régime permanent
(facteur de charge 100 %)**

**Calculation of the continuous current rating of cables
(100 % load factor)**

Les modifications contenues dans le présent document ont été approuvées suivant la Règle des Six Mois.

Les projets de modifications furent discutés par le Sous-Comité 20A du Comité d'Etudes N° 20 de la CEI, à la suite de quoi le projet, document 20A(Bureau Central)52, fut diffusé pour approbation suivant la Règle des Six Mois en avril 1976.

The amendments contained in this document have been approved under the Six Months' Rule.

The draft amendments were discussed by Sub-Committee 20A of IEC Technical Committee No. 20, as a result of which the draft, Document 20A(Central Office)52, was circulated for approval under the Six Months' Rule in April 1976.



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe
Genève, Suisse

Page 2

SOMMAIRE

Remplacer le titre existant de l'annexe A et « à l'étude » par ce qui suit:

ANNEXE A — Valeurs de référence des températures ambiantes et résistivités thermiques des sols dans divers pays.

Page 6

INTRODUCTION

Dans la deuxième phrase du quatrième paragraphe, remplacer « pour ce qui est de la température ambiante, de la résistance thermique du sol et de la température maximale du conducteur » par « pour ce qui est de la température ambiante et de la résistivité thermique du sol ».

Page 14

4. Résistance en courant alternatif du conducteur R

Ajouter le nouveau paragraphe suivant:

4.5 Facteur d'effet de proximité y_p pour les câbles bipolaires

Le facteur d'effet de proximité est donné par:

$$y_p = \frac{x_p^4}{192 + 0,8 x_p^4} \cdot \left(\frac{d_e}{s}\right)^2 \cdot 2,9$$

Page 22

6. Pertes dans les gaines λ_1

Ajouter le nouveau paragraphe suivant:

6.11 Câbles bipolaires sous gaine commune

De même que pour les câbles tripolaires λ_1' est négligeable et le facteur de perte est donné par l'une des formules suivantes:

— pour les conducteurs ronds ou ovales:

$$\lambda_1'' = \frac{16 \omega^2 10^{-18}}{R \cdot R_s} \left(\frac{c}{d}\right)^2 \left[1 + \left(\frac{c}{d}\right)^2\right]$$

— pour les conducteurs sectoriaux:

$$\lambda_1'' = \frac{10,8 \omega^2 10^{-20}}{R \cdot R_s} \left(\frac{1,48 r_1 + t}{d}\right)^2 \left[12,2 + \left(\frac{1,48 r_1 + t}{d}\right)^2\right]$$

Page 3

CONTENTS

Replace the existing title of Appendix A and “under consideration” by the following:

APPENDIX A — Reference ambient temperatures and thermal resistivities of soils in various countries.

Page 7

INTRODUCTION

In the fourth paragraph, in the second sentence replace “with respect to ambient temperature, soil thermal resistivity, and maximum conductor temperature” by “with respect to the ambient temperature and soil thermal resistivity”.

Page 15

4. A.C. resistance of conductor R

Add the following new sub-clause:

4.5 Proximity effect factor y_p for two-core cables

The proximity effect factor is given by:

$$y_p = \frac{x_p^4}{192 + 0.8 x_p^4} \cdot \left(\frac{d_0}{s}\right)^2 \cdot 2.9$$

Page 23

6. Sheath loss factor λ_1

Add the following new sub-clause:

6.11 Two-core cables with common sheath

As for three-core cables λ_1' is negligible and the loss factor is given by one of the following formulae:

— for round or oval conductors:

$$\lambda_1'' = \frac{16 \omega^2 10^{-18}}{R \cdot R_s} \left(\frac{c}{d}\right)^2 \left[1 + \left(\frac{c}{d}\right)^2\right]$$

— for sector-shaped conductors:

$$\lambda_1'' = \frac{10.8 \omega^2 10^{-20}}{R \cdot R_s} \left(\frac{1.48 r_1 + t}{d}\right)^2 \left[12.2 + \left(\frac{1.48 r_1 + t}{d}\right)^2\right]$$

Page 32

7. Pertes dans les armures et les frettages λ_2

7.3.1 Câbles unipolaires

Remplacer le texte existant par le suivant:

7.3.1 Câbles unipolaires sous gaine de plomb

Les calculs suivants ne tiennent pas compte de l'influence éventuelle des milieux environnants, qui peut être appréciable dans le cas des câbles sous-marins en particulier.

Le calcul des pertes dans les gaines de plomb et les armures des câbles unipolaires sous armure de fils d'acier dont la gaine et l'armure sont jointes aux deux extrémités est le suivant:

a) La résistance équivalente aux résistances de la gaine et l'armure en parallèle est donnée par:

$$R_e = \frac{R_g R_A}{R_g + R_A} \quad \text{ohm/cm}$$

où:

R_g = résistance de la gaine par unité de longueur ohm/cm

R_A = résistance en courant alternatif de l'armure par unité de longueur ohm/cm

La résistance en courant alternatif des fils d'armure varie d'environ 1,2 fois la résistance en courant continu pour les fils de 2 mm de diamètre jusqu'à 1,4 fois la résistance en courant continu pour les fils de 5 mm. La valeur de la résistance n'a pas un effet très sensible sur le résultat final.

b) L'inductance des éléments du circuit est calculée par phase, de la façon suivante.

$$H_s = 0,46 \left(\log \frac{2 s_2}{d} \right) 10^{-8} \quad \text{H/cm}$$

où H_s est l'inductance due à la gaine

$$H_1 = 0,314 \mu_e \cdot \left(\frac{n_1 d_f^2}{p d_A} \right) \sin \beta \cos \gamma \cdot 10^{-8} \quad \text{H/cm}$$

$$H_2 = 0,314 \mu_e \cdot \left(\frac{n_1 d_f^2}{p d_A} \right) \sin \beta \sin \gamma \cdot 10^{-8} \quad \text{H/cm}$$

$$H_3 = 0,4 (\mu_t - 1) \frac{d_f}{d_A} \cos^2 \beta \cdot 10^{-8} \quad \text{H/cm}$$

où:

H_1, H_2 et H_3 = composantes de l'inductance due aux fils d'acier

s_2 = distance entre axes des câbles adjacents, y compris dans le cas des câbles opposés en nappe cm

d_f = diamètre du fil d'acier cm

p = pas d'assemblage du fil d'acier cm

n_1 = nombre de fils d'acier

β = angle formé par l'axe d'un fil d'armure et l'axe du câble

γ = déphasage du flux magnétique longitudinal dans les fils d'acier sur la force magnétisante

μ_e = perméabilité relative longitudinale des fils d'acier

μ_t = perméabilité relative transversale des fils d'acier

7. Armour and reinforcement losses λ_2

7.3.1 Single-core cable

Replace the existing text by the following:

7.3.1 Single-core lead-sheathed cables

The following calculations do not take into account the possible influence of the surrounding media, which may be appreciable in particular for cables laid under water.

Calculation of the power loss in the lead sheath and armour of single-core cables with steel-wire armour with the sheath and armour bonded together at both ends is as follows:

a) The equivalent resistance of sheath and armour in parallel is given by:

$$R_e = \frac{R_s R_A}{R_s + R_A} \quad \text{ohm/cm}$$

where:

R_s = resistance of sheath per unit length ohm/cm

R_A = a.c. resistance of armour per unit length ohm/cm

The a.c. resistance of armour wire varies from about 1.2 times the d.c. resistance for 2 mm diameter wires up to 1.4 times the d.c. resistance for 5 mm wires. The resistance does not critically affect the final result.

b) The inductance of the elements of the circuit is calculated per phase, as follows:

$$H_s = 0.46 \left(\log \frac{2s_2}{d} \right) 10^{-8} \quad \text{H/cm}$$

where H_s is the inductance due to the sheath

$$H_1 = 0.314 \mu_e \cdot \left(\frac{n_1 d_f^2}{p d_A} \right) \sin \beta \cos \gamma \cdot 10^{-8} \quad \text{H/cm}$$

$$H_2 = 0.314 \mu_e \cdot \left(\frac{n_1 d_f^2}{p d_A} \right) \sin \beta \sin \gamma \cdot 10^{-8} \quad \text{H/cm}$$

$$H_3 = 0.4 (\mu_t - 1) \frac{d_f}{d_A} \cos^2 \beta \cdot 10^{-8} \quad \text{H/cm}$$

where:

H_1 , H_2 and H_3 = components of the inductance due to the steel wires.

s_2 = axial spacing between adjacent cables, including the case of cables in flat formation cm

d_f = diameter of a steel wire cm

p = length of lay of a steel wire along the cable cm

n_1 = number of steel wires

β = angle between axis of armour wire and axis of cable

γ = angular time delay of the longitudinal magnetic flux in the steel wires behind the magnetizing force

μ_e = longitudinal relative permeability of steel wires

μ_t = transverse relative permeability of steel wires

Pour les valeurs de γ , μ_e et μ_t voir le point d).

$$\text{Prendre } B_1 = \omega (H_s + H_1 + H_3)$$

ohm/cm

$$B_2 = \omega H_2$$

ohm/cm

c) Les pertes totales dans la gaine et l'armure $W_{(s + A)}$ sont données par

$$W_{(s + A)} = I^2 \left(R_e \cdot \frac{B_2^2 + B_1^2 + R_e B_2}{(R_e + B_2)^2 + B_1^2} \right) \quad \text{W/cm}$$

Les pertes dans la gaine W_s sont données par:

$$W_s = R_s I_s^2 \quad \text{W/cm}$$

$$\text{où } I_s = - \left(\frac{B_2 + \gamma B_1}{R_s + B_2 + \gamma B_1} \right) \cdot I \quad \text{A}$$

D'où les pertes dans l'armure W_A :

$$W_A = W_{(s + A)} - W_s \quad \text{W/cm}$$

$$\text{et } \lambda_1' = \frac{W_s}{W_e}$$

$$\text{où } W_e = R I^2, \text{ pertes dans le conducteur} \quad \text{W/cm}$$

$$\text{et } \lambda_2 = \frac{W_A}{W_e}$$

Les pertes pour les câbles à gaine d'aluminium sont à l'étude.

d) Choix des caractéristiques magnétiques γ , μ_e et μ_t .

Ces valeurs varient suivant les échantillons particuliers d'acier et, à moins de pouvoir se référer à des mesures faites sur les fils d'acier utilisés, des valeurs moyennes doivent être adoptées.

L'erreur résultante n'est pas sensible si, pour des fils de 4 mm à 6 mm de diamètre et des forces de traction autour de 40 kgf/mm², les valeurs suivantes sont adoptées:

$$\mu_e = 400$$

$$\mu_t = 10, \text{ lorsque les fils sont en contact}$$

$$\mu_t = 1, \text{ lorsque les fils sont séparés}$$

$$\gamma = 45^\circ$$

Si un calcul plus précis est exigé et si les caractéristiques des fils sont connues, il est alors nécessaire de connaître d'abord la valeur approchée de la force magnétisante H afin de trouver les caractéristiques magnétiques qui conviennent.

$$H = \frac{0,4 \times |\bar{I} + \bar{I}_s|}{d_A} \quad \text{oersted}$$

où \bar{I} et \bar{I}_s sont les valeurs vectorielles du courant dans le conducteur et du courant dans la gaine. Pour le choix initial des caractéristiques magnétiques, il suffit généralement de supposer que $|\bar{I} + \bar{I}_s| = 0,6 I$, et de reprendre les calculs s'il s'avère ensuite que la valeur calculée accuse une différence importante.

For values of γ , μ_e and μ_t see Item d).

$$\begin{aligned} \text{Let } B_1 &= \omega (H_s + H_1 + H_3) && \text{ohm/cm} \\ B_2 &= \omega H_2 && \text{ohm/cm} \end{aligned}$$

c) The total loss in sheath plus armour $W_{(s + A)}$ is given by

$$W_{(s + A)} = I^2 \left(R_e \cdot \frac{B_2^2 + B_1^2 + R_e B_2}{(R_e + B_2)^2 + B_1^2} \right) \quad \text{W/cm}$$

The loss in the sheath W_s is given by:

$$W_s = I_s^2 R_s \quad \text{W/cm}$$

$$\text{where } I_s = - \left(\frac{B_2 + \gamma B_1}{R_s + B_2 + \gamma B_1} \right) \cdot I \quad \text{A}$$

Then the loss in the armour W_A is:

$$W_A = W_{(s + A)} - W_s \quad \text{W/cm}$$

$$\text{and } \lambda'_1 = \frac{W_s}{W_c}$$

$$\text{where } W_c = I^2 R \text{ loss in conductor} \quad \text{W/cm}$$

$$\text{and } \lambda_2 = \frac{W_A}{W_c}$$

Losses for aluminium sheathed cables are under consideration.

d) Choice of magnetic properties γ , μ_e and μ_t .

These quantities vary with the particular sample of steel and unless reference can be made to measurements on the steel wire to be used, some average values must be assumed.

No appreciable error is involved if, for wires of diameters from 4 mm to 6 mm and tensile strengths around 40 kgf/mm², the following values are assumed:

$$\begin{aligned} \mu_e &= 400 \\ \mu_t &= 10, \text{ when wires are in contact} \\ \mu_t &= 1, \text{ when wires are separated} \\ \gamma &= 45^\circ \end{aligned}$$

If a more precise calculation is required and the wire properties are known, then it is initially necessary to know an approximate value for the magnetizing force H in order to find the appropriate magnetic properties.

$$H = \frac{0.4 \times |\bar{I} + \bar{I}_s|}{d_A} \quad \text{oersted}$$

where \bar{I} and \bar{I}_s are the vectorial values of conductor current and sheath current. For the initial choice of magnetic properties it is usually satisfactory to assume that $|\bar{I} + \bar{I}_s| = 0.6 I$, and to repeat the calculations if it is subsequently established that the calculated value is significantly different.

Ajouter le nouveau paragraphe suivant:

7.3.4 Câbles bipolaires sous armure de fil d'acier

$$\lambda_2 = \frac{0,62 \omega^2 10^{-18}}{R \cdot R_A} + \frac{0,0024 A f 10^{-3}}{R} \cdot \left[\frac{1,48 r_1 + t}{d_A^2 + 95,7 A} \right]^2$$

Page 38

8. Résistances thermiques des constituants des câbles, T_1 , T_2 et T_s

8.1.2 Câbles tripolaires à ceinture

Remplacer le texte existant par le suivant:

8.1.2 Câbles à ceinture

$$T_1 = \frac{\rho_T}{2 \pi} G$$

où G est le facteur géométrique.

8.1.2.1 Câbles tripolaires à ceinture à conducteurs circulaires

Le facteur géométrique G est donné par la figure 2, page 63 (de la Publication 287).

8.1.2.2 Câbles tripolaires à ceinture à conducteurs sectoriaux

Le facteur géométrique G de ces câbles dépend de la forme des secteurs, qui varie d'un fabricant à l'autre. Une formule appropriée est:

$$G = F_1 6,9 \log_{10} \left(\frac{d_a}{2 r_1} \right)$$

où:

d_a = diamètre extérieur de la ceinture isolante, cm

r_1 = rayon du cercle circonscrit aux conducteurs, cm

$$F_1 = 1 + \frac{3 t}{2 \pi (d_x + t) - t}$$

et

d_x = diamètre de l'âme câblée ronde ayant la même section que l'âme sectoriale considérée, cm.

8.1.2.3 Câbles bipolaires à ceinture à conducteurs circulaires

Le facteur géométrique G est donné par la figure 2A, page 30 de cette modification.

8.1.2.4 Câbles bipolaires à ceinture à conducteurs sectoriaux

Le facteur géométrique G est donné par:

$$G = F_1 4,6 \log_{10} \left(\frac{d_a}{2 r_1} \right)$$

$$\text{où } F_1 = 1 + \frac{2,2 t}{2 \pi (d_x + t) - t}$$

Add the following new sub-clause:

7.3.4 Two-core cables steel wire armour

$$\lambda_2 = \frac{0.62 \omega^2 10^{-18}}{R \cdot R_A} + \frac{0.0024 A f 10^{-3}}{R} \cdot \left[\frac{1.48 r_1 + t}{d_A^2 + 95.7 A} \right]^2$$

Page 39

8. Thermal resistance of the constituent parts of a cable, T_1 , T_2 , and T_3

8.1.2 Three-core belted cables

Replace the existing text by the following:

8.1.2 Belted cables

$$T_1 = \frac{\rho_T}{2\pi} G$$

where G is the geometric factor

8.1.2.1 Three-core belted cables with circular conductors

The geometric factor G is given in Figure 2, page 63 (cf. Publication 287).

8.1.2.2 Three-core belted cables with sector-shaped conductors

The geometric factor G for these cables depends on the shape of the sectors, which varies from one manufacturer to another. A suitable formula is:

$$G = F_1 6.9 \log_{10} \left(\frac{d_a}{2 r_1} \right)$$

where:

d_a = external diameter of the belt insulation, cm

r_1 = radius of the circle circumscribing the conductors, cm

$$F_1 = 1 + \frac{3 t}{2 \pi (d_x + t) - t}$$

and

d_x = diameter of a circular stranded conductor having the same cross-sectional area as the shaped one, cm.

8.1.2.3 Two-core belted cables with circular conductors

The geometric factor G is given in Figure 2A, page 30 of this amendment.

8.1.2.4 Two-core belted cables with sector-shaped conductors

The geometric factor G is given by:

$$G = F_1 4.6 \log_{10} \left(\frac{d_a}{2 r_1} \right)$$

$$\text{où } F_1 = 1 + \frac{2.2 t}{2 \pi (d_x + t) - t}$$

ANNEXE A

Page 58

Remplacer le texte existant par le suivant:

VALEURS DES TEMPÉRATURES AMBIANTES DE RÉFÉRENCE ET RÉSISTIVITÉS THERMIQUES DES SOLS DANS DIVERS PAYS

A1. Conditions de fonctionnement type

Afin d'utiliser les formules données dans les différentes sections du document principal, les valeurs numériques des grandeurs physiques devraient être choisies en fonction des conditions de fonctionnement.

Il est évidemment possible de comparer les résultats de deux calculs de courant de régime si les hypothèses faites et les valeurs numériques des paramètres sont connues.

En particulier, les grandeurs relatives aux conditions de fonctionnement des câbles sont susceptibles de varier considérablement d'un pays à un autre. Une enquête a été effectuée à ce sujet et un certain nombre de pays ont envoyé une réponse.

L'article A4 et ses paragraphes résument les conditions de fonctionnement utilisées dans divers pays. L'attention est attirée sur le fait que les renseignements contenus dans l'article A4 sont proposés seulement comme un modèle pour les installateurs de câbles lorsque les données fournies par l'utilisateur sont incomplètes. Il faut se garder de tirer des conclusions erronées à partir de la comparaison des valeurs de divers pays. Il est à rappeler que les valeurs adoptées dans un pays particulier sont fonction d'un grand nombre de facteurs qui peuvent ne pas avoir la même importance dans les autres pays.

Les valeurs relatives aux conditions de fonctionnement sont données à l'article A4 pour les pays suivants:

Allemagne	Italie
Australie	Japon
Autriche	Pays-Bas
Canada	Pologne
États-Unis d'Amérique	Royaume-Uni
Finlande	Suède
France	Suisse

A2. Procédé lorsque les valeurs ne sont pas fournies dans les tables nationales

Il est conseillé d'adopter les données suivantes lorsqu'il n'y a pas de valeurs indiquées dans les tables nationales pour la température ambiante de référence et la résistivité thermique du sol.

A2.1 Températures ambiantes de l'air au niveau de la mer

Climat	Températures ambiantes de l'air		Températures ambiantes du sol à 1 m de profondeur	
	Min.	Max.	Min.	Max.
	°C	°C	°C	°C
Tropical	25	55	25	40
Subtropical	10	40	15	30
Tempéré	0	25	10	20

APPENDIX A

Page 59

Replace the existing text by the following:

REFERENCE AMBIENT TEMPERATURES AND THERMAL RESISTIVITIES OF SOILS IN VARIOUS COUNTRIES

A1. Standard operating conditions

In order to use the formulae given in the different sections of the main document, numerical values for the physical quantities should be chosen relating to the operating conditions.

It is obviously possible to compare the results of two calculations of current rating only when the assumptions made and the numerical values of the parameters are known.

In particular, the quantities related to the operating conditions of cables are liable to vary considerably from one country to another. An enquiry into this subject has been carried out and a number of countries have replied.

Clause A4 and its sub-clauses summarize the operating conditions used in various countries. Attention is drawn to the fact that the information in Clause A4 is intended only as a guide for cable installation designers when data provided by a user is incomplete. Care must be taken not to draw unjustified conclusions from comparisons of values for different countries. It should be remembered that the values adopted in any particular country are governed by many factors some of which might not be of equal importance in other countries.

Values relating to the operating conditions are given in Clause A4 for the following countries:

Australia	Japan
Austria	Netherlands
Canada	Poland
Finland	Sweden
France	Switzerland
Germany	United Kingdom
Italy	United States of America

A2. Procedure when values are not provided in national tables

It is recommended that when there is no value laid down in the national tables for the reference ambient temperature and thermal resistivity of the soil, the following values should be adopted.

A2.1 Ambient air temperatures at sea level

Climate	Ambient air temperatures		Ambient ground temperatures at a depth of 1 m	
	Min.	Max.	Min.	Max.
	°C	°C	°C	°C
Tropical	25	55	25	40
Sub-tropical	10	40	15	30
Temperate	0	25	10	20

Il est fondamental que les courants admissibles assignés soient valables pour les températures maximales données. Les plus faibles valeurs sont pour les régimes d'hiver s'ils sont demandés. Les valeurs correspondent aux limites de température d'hiver et d'été, saisons alternativement pluvieuses et sèches. Lorsque les renseignements au sujet de la profondeur de pose ne sont pas donnés, la profondeur courante à prendre est de 1 m.

A2.2 Résistivité thermique

Résistivité thermique deg C cm/W	Etat du sol	Conditions atmosphériques
70	Très humide	Constamment humide
100	Humide	Pluviosité régulière
200	Sec	Pluies peu fréquentes
300	Très sec	Peu ou pas de pluies

A3. Températures maximales de fonctionnement du conducteur

Les températures admissibles maximales des différents mélanges isolants sont données dans le tableau suivant:

Mélange isolant	Température nominale maximale de l'âme °C	
	Service normal *	Court-circuit (durée maximale 5 s)
Caoutchouc butyle	85	220
Polychlorure de vinyle ou copolymère de chlorure et d'acétate de vinyle (PVC)	70	160
Polyéthylène thermoplastique (PE)	70 **	130 ***
Polyéthylène réticulé (PRC)	90	250
Caoutchouc d'éthylène propylène (EPR)	90	250

* Il est indispensable que l'on tienne compte des pertes diélectriques quand la valeur de U_0 est supérieure ou égale aux valeurs indiquées dans l'article 5.

** 75 °C pour le PE de densité supérieure à 0,960 g/cm³ à 23 °C.

*** Cette température peut être portée à 150 °C si on utilise sur l'âme conductrice un écran approprié.

A4. Valeurs relatives aux conditions de fonctionnement dans divers pays

A4.1 Australie

1) Situations types

Résistivité thermique du sol 120 deg C cm/W

Température ambiante du sol 25 °C

2) Profondeur de pose

50 cm de profondeur de la surface du sol au centre du câble ou au centre du trèfle du groupe de câbles

3) Température ambiante de l'air

Valeur maximale 40 °C

It is essential that current ratings should be valid for the maximum temperatures given. The lower values are for winter ratings if required. The values correspond with the temperature limits of winter and summer, alternatively rainy and dry seasons. When no information about the depth of laying is given the standard depth is to be taken as 1 m.

A2.2 Thermal resistivity

Thermal resistivity deg C cm/W	Soil conditions	Weather conditions
70	Very moist	Continuously moist
100	Moist	Regular rainfall
200	Dry	Seldom rains
300	Very dry	Little or no rain

A3. Maximum conductor operating temperatures

Highest permissible temperature for the different types of insulating compounds are given in the following table.

Insulation	Maximum rated conductor temperature °C	
	Normal operation *	Short circuit (5 s maximum duration)
Butyl rubber	85	220
Polyvinyl chloride or the copolymer of vinyl chloride and vinyl acetate (PVC)	70	160
Thermoplastic polyethylene (PE)	70 **	130 ***
Cross-linked polyethylene (XLPE)	90	250
Ethylene propylene rubber (EPR)	90	250

* It is essential that dielectric losses are taken into account when U_0 is equal to or greater than the values give in Clause 5.

** 75 °C for PE of density higher than 0.960 g/cm³ at 23 °C.

*** This temperature may be increased to 150 °C by use of a suitable conductor screen construction.

A4. Values relating to the operating conditions in various countries

A4.1 Australia

1) *Standard conditions*

Soil thermal resistivity 120 deg C cm/W

Soil ambient temperature 25 °C

2) *Depth of burial*

50 cm measured from the ground surface to the centre of the cable, or to the centre of a trefoil group

3) *Air ambient temperature*

Maximum value 40 °C

A4.2 Autriche

1) Caractéristiques thermiques du sol

a) Résistivité thermique:

jusqu'à 30 kV, valeur moyenne	70 deg C cm/W
30 kV, valeur moyenne	100 deg C cm/W
	(max. 120; min. 70 deg C cm/W)

b) Température:

valeur maximale	20 °C
valeur minimale	0 °C

2) Profondeur de pose des câbles enterrés

Tous les câbles jusqu'à 1 kV	70 cm
Tous les câbles jusqu'à 10 kV	80 cm
Câbles isolés au papier de 10 kV	100 cm
Câbles à huile fluide jusqu'à 220 kV	120 cm

3) Température de l'air

Valeur moyenne	20 °C (max. 40 °C; min. -20 °C)
----------------	---------------------------------

A4.3 Canada

Bien qu'il n'y ait pas de valeurs canadiennes nationales reconnues de résistivité thermique du sol, de température et de profondeur de pose, les chiffres donnés ci-dessous sont caractéristiques.

1) Caractéristiques thermiques du sol pour les câbles directement enterrés ou en fourreaux

a) Résistivité thermique:

valeur maximale	120 deg C cm/W
valeur minimale	60 deg C cm/W
valeur moyenne	90 deg C cm/W

b) Température:

valeur maximale	20 °C
valeur minimale	-5 °C
valeur moyenne	non utilisée comme base de projet

Résistivité thermique du sol

Lorsqu'on ne dispose pas de mesures directes, il est généralement admis de prendre une résistivité thermique de 90 deg C cm/W. Cependant, dans les cas où une détérioration progressive des caractéristiques thermiques de l'environnement au cours des années est prévisible, et dans les cas où les conditions climatiques peuvent occasionner un accroissement sensible des variations saisonnières, il est recommandé de déterminer la capacité de transport à partir d'une résistivité thermique de 120 deg C cm/W.

Ne pas se référer aux plus faibles valeurs de résistivité, pendant l'hiver, pour établir les bases d'un projet de réseau de quelque importance.

A4.2 Austria

1) Thermal characteristics of the soil

a) Thermal resistivity:

up to 30 kV, average value	70 deg C cm/W
30 kV, average value	100 deg C cm/W
	(max. 120; min. 70 deg C cm/W)

b) Temperature:

maximum value	20 °C
minimum value	0 °C

2) Depth of laying for buried cables

All cables up to 1 kV	70 cm
All cables up to 10 kV	80 cm
Paper insulated cables 10 kV	100 cm
Oil-filled cables up to 220 kV	120 cm

3) Air temperature

Average value	20 °C (max. 40 °C; min. -20 °C)
---------------	---------------------------------

A4.3 Canada

While there are no recognized Canadian national values of soil thermal resistivity and temperature, and depth of laying, the values shown below are typical.

1) Thermal characteristics of the soil for cables directly buried or in ducts

a) Thermal resistivity:

maximum value	120 deg C cm/W
minimum value	60 deg C cm/W
average value	90 deg C cm/W

b) Temperature:

maximum value	20 °C
minimum value	-5 °C
average value	not used as a design basis

Soil thermal resistivity

Where direct measurements are not available, it is usual to assume a thermal resistivity of 90 deg C cm/W. However, in cases where it is foreseen that there may be a progressive deterioration of the thermal characteristics of the environment over a period of years, and in cases where the climatic conditions may give rise to significant seasonal variations, it is recommended that the current carrying capacity be based on a thermal resistivity of 120 deg C cm/W.

Reference is not made to lower values of resistivity, during winter, as a basis for system design to any significant extent.

2) *Profondeur de pose **

	Directement enterrés	En fourreaux
a) Câbles isolés au papier à matière stabilisée et non migrante, pour des tensions jusqu'à 69 kV	110 cm	110 cm
b) Isolation solide (butyle, caoutchouc d'éthylène propylène, PVC, polyéthylène, polyéthylène réticulé, etc.), câbles pour tensions jusqu'à 46 kV	90 cm	90 cm
c) Câbles à huile fluide pour tensions jusqu'à 345 kV	110 cm	110 cm
d) Câbles en tuyau (à pression de gaz ou d'huile) pour tensions jusqu'à 345 kV	110 cm	—
3) <i>Températures de l'air environnant</i>		
Valeur maximale	40 °C	
Valeur minimale	−40 °C	
Valeur moyenne	non utilisée comme base de projet	

A4.4 *Finlande*

1) *Caractéristiques thermiques du sol*

a) *Résistivité thermique:*

valeur moyenne utilisée pour le calcul du courant admissible assigné 100 deg C cm/W
 et pour les câbles sous-marins où le sol est complètement saturé d'eau 40 deg C cm/W

b) *Températures:*

valeur maximale 15 °C
 valeur minimale 0 °C
 (valeur moyenne 5 °C à 10 °C, maximum exceptionnel 20 °C)

2) *Profondeur de pose pour câbles directement enterrés ou en fourreaux*

Tous les câbles jusqu'à 36 kV 70 cm
 Tous les câbles jusqu'à 52 kV 100 cm
 Tous les câbles jusqu'à 123 kV 130 cm
 Tous les câbles jusqu'à 245 kV 150 cm

La profondeur réelle dépend des conditions locales.

3) *Températures de l'air*

Valeur de référence pour le calcul du courant admissible 25 °C
 Valeur maximale 35 °C
 Valeur minimale −20 °C

* C'est en réalité une « couverture minimale » qui est exigée et qui, dans le cas de faisceaux de fourreaux, correspond à la couverture du faisceau.

2) *Depth of laying **

	Direct burial	In ducts
a) Paper insulated, solid and non-draining cables for voltages up to 69 kV	110 cm	110 cm
b) Solid insulation (butyl, ethylene propylene rubber, PVC, polyethylene, cross-linked polyethylene, etc.), cables for voltages up to 46 kV	90 cm	90 cm
c) Oil-filled cables for voltages up to 345 kV	110 cm	110 cm
d) Pipe-type (gas or oil pressure) cables for voltages up to 345 kV	110 cm	—

3) *Temperatures of the surrounding air*

maximum value	40 °C
minimum value	−40 °C
Average value	not used as a design basis

A4.4 *Finland*

1) *Thermal characteristics of soil*

a) *Thermal resistivity:*

the average value to be used for calculation of the current rating and for submarine cables where the soil is completely saturated with water

100 deg C cm/W
40 deg C cm/W

b) *Temperatures:*

Maximum value	15 °C
Minimum value	0 °C
(average value 5 °C to 10 °C, exceptional maximum	20 °C)

2) *Depth of laying for cables directly buried or in ducts*

All cables up to 36 kV	70 cm
All cables up to 52 kV	100 cm
All cables up to 123 kV	130 cm
All cables up to 245 kV	150 cm

The actual depth depends on local conditions.

3) *Air temperatures*

Reference value for calculation of the current rating	25 °C
Maximum value	35 °C
Minimum value	−20 °C

* This is in reality a "minimum cover" requirement and in the case of duct banks corresponds to the duct bank cover.

A4.5 France

1) Caractéristiques thermiques du sol

a) Résistivité thermique en été: 120 deg C cm/W, en hiver: 85 deg C cm/W (pour les liaisons importantes à 63, 225 et 380 kV des mesures directes sont effectuées, et si nécessaire un remblai artificiel est utilisé pour éviter les risques d'instabilité thermique; quelquefois la circulation d'huile est aussi utilisée).

b) Température:

en été 20 °C
en hiver 10 °C

(dans les cas spéciaux, comme dans le sud de la France, 25 °C; valeur minimale 5 °C à une profondeur d'environ 80 cm).

2) Profondeur de pose pour les câbles directement enterrés ou en fourreaux

a) Dans la région parisienne:

en zone urbaine 140 cm
en zone suburbaine 130 cm (sous chaussées)
100 cm (sous trottoirs)
dans les postes 80 cm

b) En province:

pour la basse et
moyenne tension 100 cm (sous chaussées)
80 cm (sous trottoirs)
pour la haute tension 100 cm

(ces valeurs peuvent varier suivant les règlements locaux)

3) Température de l'air

Valeur de référence 30 °C (35 °C pour les câbles exposés au soleil)
Valeur minimale -25 °C avec vent
-20 °C sans vent (généralement non pris en compte)

A4.6 Allemagne

1) Caractéristiques thermiques du sol

a) Résistivité thermique:

valeur moyenne maximale 100 deg C cm/W

b) Température:

pour les câbles à huile fluide et en tuyau:
valeur maximale 15 °C
pour les autres câbles:
valeur maximale 20 °C

(valeur minimale 0 °C; valeur moyenne 10 °C)

A4.5 France

1) Thermal characteristics of the soil

a) Thermal resistivity in summer: 120 deg C cm/W, in winter: 85 deg C cm/W (for main connections at 63, 225 and 380 kV direct measurements are carried out, and an artificial backfill is used if necessary to avoid the risk of thermal instability; sometimes circulation of oil is also used).

b) Temperature:

in summer 20 °C
in winter 10 °C

(in special cases, as in the South of France, 25 °C; minimum value 5 °C at a depth of approximately 80 cm)

2) Depth of laying for cables directly buried or in ducts

a) In the Paris region:

in urban areas 140 cm
outside urban areas 130 cm under roads
100 cm under pavements
in sub-stations 80 cm

b) In the provinces:

for low and medium voltages 100 cm under roads
80 cm under pavements

for high voltages 100 cm

(these values may vary according to local regulations)

3) Air temperature

Reference value 30 °C (35 °C for cables exposed to the sun)
Minimum value -25 °C with wind
-20 °C without wind (generally not taken into account)

A4.6 Germany

1) Thermal characteristics of the soil

a) Thermal resistivity:

average maximum value 100 deg C cm/W

b) Temperature:

for oil-filled and pipe-type cables:

maximum value 15 °C

for other cables:

maximum value 20 °C

(minimum value 0 °C; average value 10 °C)

2) *Profondeur de pose des câbles enterrés*

Pour les câbles à huile fluide et en tuyau	120 cm
Pour les autres câbles	70 cm *

3) *Température de l'air*

Valeur maximale	30 °C
(minimale -20 °C; moyenne 10 °C)	

A4.7 *Italie*

1) *Caractéristiques thermiques du sol*

a) Résistivité thermique:

valeur maximale 100 deg C cm/W

Si les caractéristiques thermiques du sol sont trop faibles, un remblai convenable est utilisé et la référence est prise à une valeur de résistivité thermique intermédiaire entre celle du remblai et celle du sol environnant.

b) Température:

valeur maximale (utilisée dans les calculs)	20 °C
valeur minimale	5 °C

2) *Profondeur de pose pour les câbles directement enterrés*

Cette profondeur est la valeur maximale adoptée sauf spécification contraire.

Jusqu'à 12 kV	80 cm
Jusqu'à 17,5 kV	100 cm
Jusqu'à 24 kV	120 cm
Jusqu'à 36 kV	150 cm
Jusqu'à 72 kV	180 cm
Jusqu'à 220 kV	220 cm

3) *Température de l'air*

Valeur maximale (utilisée dans les calculs)	30 °C
Valeur minimale	0 °C
Variation journalière maximale	20 °C

En été, la température maximale peut, quelquefois pendant quelques heures par jour, être supérieure de 5 °C (et même plus dans des cas particuliers) à la valeur maximale mentionnée ci-dessus. Une telle situation est considérée comme acceptable, compte tenu de sa courte durée.

A4.8 *Japon*

1) *Caractéristiques thermiques du sol*

a) Résistivité thermique:

valeur moyenne	100 deg C cm/W
(un fabricant utilise	120, 80 et 40 deg C cm/W, respectivement pour sol sec, normal et humide)

* Bien qu'étant calculés pour 70 cm, les câbles de 20 kV à 30 kV sont souvent posés de 90 cm à 100 cm de profondeur.

2) *Depth of laying for buried cables*

For oil-filled and pipe-type cables	120 cm
For other cables	70 cm *

3) *Air temperature*

Maximum value	30 °C
(minimum -20 °C; average 10 °C)	

A4.7 *Italy*

1) *Thermal characteristics of the soil*

a) *Thermal resistivity:*

maximum value 100 deg C cm/W

If the thermal characteristics of the soil are found to be poor, a suitable backfill is used and reference is made to a thermal resistivity intermediate between that of the backfill and that of the surrounding soil.

b) *Temperature:*

maximum value (to be used in calculations)	20 °C
minimum value	5 °C

2) *Depth of laying for directly buried cables*

This depth is the maximum adopted unless otherwise specified.

Up to 12 kV	80 cm
Up to 17.5 kV	100 cm
Up to 24 kV	120 cm
Up to 36 kV	150 cm
Up to 72 kV	180 cm
Up to 220 kV	220 cm

3) *Air temperature*

Maximum value (to be used in calculations)	30 °C
Minimum value	0 °C
Maximum daily excursion	20 °C

In summer, the maximum temperature may sometimes, for a few hours daily, be higher by 5 °C (and in special cases even more) than the above-mentioned maximum value. Such an occurrence is considered to be acceptable due to its short duration.

A4.8 *Japan*

1) *Thermal characteristics of the soil*

a) *Thermal resistivity:*

average value	100 deg C cm/W
(one manufacturer uses	120, 80 and 40 deg C cm/W for dry, normal and wet soil respectively)

* In spite of being calculated for 70 cm, often cables at 20 kV to 30 kV are laid at 90 cm to 100 cm depth.

b) Température:

valeur maximale	25 °C l'été
	15 °C l'hiver
valeur minimale	10 °C

2) Profondeur de pose des câbles directement enterrés ou en fourreaux

a) Directement enterrés:

papier et isolation solide jusqu'à 33 kV	120 cm
câbles à huile fluide et en tuyaux	150 cm

b) En fourreaux:

en dessous de 66 kV	120 cm
66 kV et au-dessus	150 cm

3) Température de l'air

Valeur maximale	40 °C l'été
	30 °C l'hiver

A4.9 Pays-Bas

1) Caractéristiques thermiques du sol

a) Résistivité thermique:

niveau d'eau du sous-sol près des câbles	50 deg C cm/W
partie est du pays	80 deg C cm/W

b) Température:

valeur maximale	20 °C
valeur minimale	5 °C
valeur moyenne	15 °C

2) Profondeur de pose des câbles directement enterrés

Câbles jusqu'à 10 kV	70 cm
Câbles au-dessus de 10 kV	100 cm

3) Température de l'air

Valeur maximale	30 °C
Valeur minimale	-5 °C
Valeur moyenne	20 °C

A4.10 Pologne

1) Caractéristiques thermiques du sol

a) Résistivité thermique:

valeur moyenne utilisée dans les calculs	80 deg C cm/W
--	---------------

b) Temperature:

maximum value	25 °C summer
	15 °C winter
minimum value	10 °C

2) *Depth of laying for cables directly buried or in ducts*

a) Direct burial:

paper and solid insulation up to 33 kV	120 cm
oil-filled and pipe cables	150 cm

b) In ducts:

less than 66 kV	120 cm
66 kV and over	150 cm

3) *Air temperature*

Maximum value	40 °C summer
	30 °C winter

A4.9 *Netherlands*

1) *Thermal characteristics of the soil*

a) Thermal resistivity:

sub-soil water level near to cables	50 deg C cm/W
eastern part of the country	80 deg C cm/W

b) Temperature:

maximum value	20 °C
minimum value	5 °C
average value	15 °C

2) *Depth of laying for directly buried cables*

Cables up to 10 kV	70 cm
Cables above 10 kV	100 cm

3) *Air temperature*

Maximum value	30 °C
Minimum value	−5 °C
Average value	20 °C

A4.10 *Poland*

1) *Thermal characteristics of the soil*

a) Thermal resistivity:

average value to be used in calculations	80 deg C cm/W
--	---------------

b) Température:

valeur moyenne utilisée dans les calculs 15 °C
valeur minimale 5 °C

2) Profondeur de pose des câbles directement enterrés

Câbles isolés au papier et câbles du type massif
jusqu'à 1 kV 70 cm
jusqu'à 15 kV 80 cm

Câbles isolés au papier aux tensions
supérieures à 15 kV 100 cm

Câbles à huile fluide
jusqu'à 110 kV 100 cm

3) Température de l'air

Valeur moyenne utilisée dans les calculs 25 °C

A4.11 Suède

1) Caractéristiques thermiques du sol

a) Résistivité thermique:

valeur moyenne utilisée dans les calculs 100 deg C cm/W
(40 deg C cm/W lorsque le sol est complètement saturé d'eau et pour les câbles sous-marins lorsque les fonds sont couverts de sable).

Dans les autres cas, on peut trouver des valeurs aussi élevées que 100 deg C cm/W. Pour les câbles importants, des mesures de la résistivité et des vérifications du sol dans le fond de la mer sont recommandées. Lorsque aucune donnée n'est connue, on utilise la valeur de 60 deg C cm/W.

b) Température:

valeur maximale 15 °C
valeur minimale 0 °C
(pour une grande partie de l'année entre 5 et 10 °C)

2) Profondeur de pose des câbles directement enterrés et des courtes traversées de rue en fourreaux

Tous les câbles jusqu'à 24 kV 70 cm
Câbles isolés au papier jusqu'à 52 kV 70 cm
Câbles à huile fluide jusqu'à 420 kV 100-150 cm *

A4.12 Suisse

1) Caractéristiques thermiques du sol

a) Résistivité thermique:

valeur normale utilisée dans les calculs 100 deg C cm/W (130 deg C cm/W en cas de sol rocheux)

* La profondeur dépend des conditions locales. Elle n'est jamais inférieure à 100 cm.

b) Temperature:

average value to be used in calculations	15 °C
minimum value	5 °C

2) Depth of laying for directly buried cables

Paper insulated and solid type cables	
up to 1 kV	70 cm
up to 15 kV	80 cm

Paper insulated cables at voltages higher than 15 kV 100 cm

Oil-filled cables up to 110 kV 100 cm

3) Air temperature

Average value to be used in calculations	25 °C
--	-------

A4.11 Sweden

1) Thermal characteristics of the soil

a) Thermal resistivity:

average value to be used in calculations 100 deg C cm/W
(40 deg C cm/W where the soil is completely saturated with water and for submarine cables where the bottom is covered with sand).

In other cases, values as high as 100 deg C cm/W may be found. For important cables, a measurement of the resistivity and soil conditions on the sea bottom is recommended. Where nothing is known, a value of 60 deg C cm/W is used.

b) Temperature:

maximum value	15 °C
minimum value	0 °C

(for main part of the year between 5 and 10 °C)

2) Depth of laying for directly buried cables and for short road crossings by means of ducts

All cables up to 24 kV	70 cm
Paper insulated cables up to 52 kV	70 cm
Oil-filled cables up to 420 kV	100-150 cm *

A4.12 Switzerland

1) Thermal characteristics of the soil

a) Thermal resistivity:

normal value to be used in calculations	100 deg C cm/W (130 deg C cm/W in case of rocky soil)
---	---

* The depth depends on the local conditions. Less than 100 cm is not used.