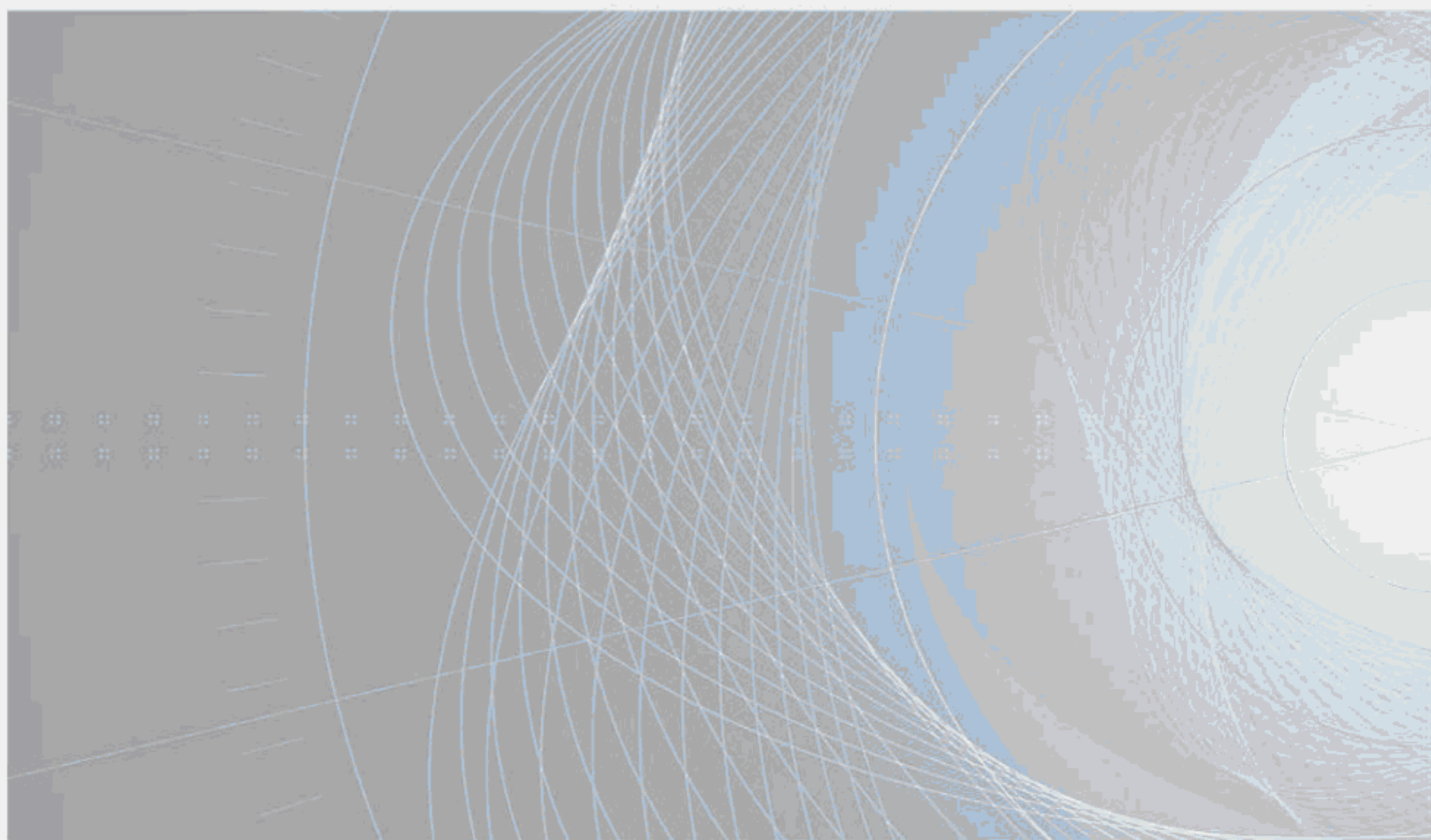


INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Mineral insulated metal-sheathed thermocouple cables and thermocouples

Câbles et couples thermoélectriques à isolation minérale dits "chemisés"





THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2016 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 15 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

65 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: csc@iec.ch.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

Recherche de publications IEC - www.iec.ch/searchpub

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 15 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

65 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: csc@iec.ch.



IEC 61515

Edition 2.0 2016-04

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Mineral insulated metal-sheathed thermocouple cables and thermocouples

Câbles et couples thermoélectriques à isolation minérale dits "chemisés"

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 17.200.20

ISBN 978-2-8322-3225-5

<p>Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.</p> <p>Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.</p>
--

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references.....	7
3 Terms and definitions	7
4 General principles	8
4.1 A MIMS thermocouple	8
4.2 Electromotive force	9
4.3 Materials and their properties	9
4.3.1 Sheath.....	9
4.3.2 Conductors	9
4.3.3 Insulation materials.....	9
4.4 Maximum operating temperature.....	9
4.5 Dimensions	9
4.5.1 Transverse section of MIMS thermocouple cables and thermocouples.....	9
4.5.2 Transverse section of simplex cable and thermocouple	10
4.5.3 Transverse section of duplex cable and thermocouple	11
4.5.4 Transverse section of triplex cable and thermocouple	12
5 Requirements and verification tests.....	12
5.1 General.....	12
5.2 MIMS thermocouple cables: requirements and verification tests	13
5.2.1 Structure and mechanical properties.....	13
5.2.2 Electrical characteristics and performance.....	14
5.3 MIMS thermocouples: requirements and verification tests	16
5.3.1 Structure and mechanical properties.....	16
5.3.2 Electrical characteristics and performance.....	18
6 Delivery condition for thermocouple cables.....	20
7 Packaging	20
8 Marking	20
9 Certification.....	20
Annex A (informative) Alternative adjacent conductor configurations.....	21
A.1 General.....	21
A.2 Duplex cable and thermocouple.....	21
A.3 Triplex cable and thermocouple	21
Annex B (informative) Mineral insulation material chemical composition.....	24
Annex C (informative) Indicative upper temperature limits.....	25
Figure 1 – Transverse section of simplex.....	10
Figure 2 – Transverse section of duplex	11
Figure 3 – Transverse section of triplex.....	12
Figure 4 – Longitudinal section of a grounded junction.....	16
Figure 5 – Longitudinal section of an insulated junction	17
Figure A.1 – Alternative adjacent conductor configuration for duplex.....	21
Figure A.2 – Alternative adjacent conductor configuration for triplex (1)	22

Figure A.3 – Alternative adjacent conductor configuration for triplex (2)	22
Figure A.4 – Alternative adjacent conductor configuration for triplex (3)	23
Table 1 – Dimensional specifications of simplex	10
Table 2 – Dimensional specifications of duplex.....	11
Table 3 – Dimensional specifications of triplex.....	12
Table 4 – Tests for MIMS thermocouple cables and thermocouples.....	13
Table 5 – Test voltage for dielectric strength	15
Table 6 – Minimum insulation resistance at ambient temperature (MIMS cables)	15
Table 7 – Insulation resistance at elevated temperatures (MIMS cables)	16
Table 8 – Minimum insulation resistance at ambient temperature	19
Table 9 – Insulation resistance at elevated temperatures (MIMS thermocouples).....	19
Table B.1 – Example values of recommended magnesia (MgO) – Chemical composition in weight percent	24
Table B.2 – Example values of recommended alumina (Al ₂ O ₃) – Chemical composition in weight percent	24
Table C.1 – Indicative temperature limits of MIMS thermocouple sheath and conductor combinations	25

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

MINERAL INSULATED METAL-SHEATHED THERMOCOUPLE CABLES AND THERMOCOUPLES

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61515 has been prepared by subcommittee 65B: Measurement and control devices, of IEC technical committee 65: Industrial-process measurement, control and automation.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1995. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- a) Duplex and triplex are standardized.
- b) Specification of insulation resistance is revised so that the user can choose the best product to fit for the purpose.
- c) "Table 2 Recommended maximum operating temperatures" in the previous version is expanded significantly including newly developed sheath material and it is moved to Annex C.
- d) Test items and their methods are expanded and a guide table (Table 4) is added for userfriendliness.

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

FDIS	Report on voting
65B/1034/FDIS	65B/1038/RVD

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

INTRODUCTION

This new edition of IEC 61515 reflects recent developments in production technology, sheath materials and insulation materials. It aims to be a flexible standard allowing suppliers to provide fit-for-purpose products at an acceptable cost.

It includes informative guidance to help users choose the products that meet their needs.

Annex A gives alternative adjacent conductor configurations for duplex and triplex MIMS thermocouple cables and thermocouples.

Annex B gives recommendations to suppliers with respect to insulation composition.

Annex C gives guidelines to users with regard to temperature limits of operation.

MINERAL INSULATED METAL-SHEATHED THERMOCOUPLE CABLES AND THERMOCOUPLES

1 Scope

This International Standard establishes the requirements for simplex, duplex and triplex mineral-insulated metal-sheathed thermocouple cables and thermocouples, which are intended for use in general industrial applications. The abbreviation MIMS (for “mineral-insulated metal-sheathed”) will be used hereafter. It covers thermocouple cables and thermocouples with only base-metal conductors of Types T, J, E, K and N. The specifications in this standard apply to new thermocouple cables and thermocouple units as delivered to the user. They do not apply to the product after use.

External seals, terminations, connections and other accessories are not within the scope of this International Standard.

This standard does not apply to precious metal thermocouple cables and thermocouples. The special requirements for nuclear primary loop applications are dealt with in the other standards.

2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60068-2-6, *Environmental testing – Part 2-6: Tests – Test Fc: Vibration (sinusoidal)*

IEC 60584-1, *Thermocouples: Part 1 – EMF specifications and tolerances*

ISO 1302, *Geometrical Product Specifications (GPS) — Indication of surface texture in technical product documentation*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60584-1 and the following apply.

3.1

mineral insulated metal-sheathed thermocouple cable

bendable cable consisting of one or more pairs of thermocouple conductors encapsulated in a metal protecting sheath, insulated from each other and from the sheath by a compacted mineral material

Note 1 to entry: Abbreviation MIMS for “mineral insulated metal-sheathed” is used hereafter.

3.2

MIMS thermocouple

thermocouple manufactured from mineral-insulated metal-sheathed thermocouple cable

Note 1 to entry: This note applies to the French language only.

3.3

simplex thermocouple

thermocouple unit comprising one pair of thermocouple conductors

3.4

duplex thermocouple

thermocouple unit comprising two pairs of thermocouple conductors

3.5

triplex thermocouple

thermocouple unit comprising three pairs of thermocouple conductors

3.6

measuring junction

junction of the thermocouple conductors which is subjected to the temperature to be measured

3.7

grounded junction

bonded junction

earthed junction

measuring junction electrically connected to the metal sheath

3.8

insulated junction

ungrounded junction

measuring junction electrically insulated from the metal sheath

3.9

thermal response time

time a thermocouple takes to respond at a specified percentage to a step change in temperature

Note 1 to entry: The time to register 50 % of the step change, for example, is written $\tau_{0,5}$.

Note 2 to entry: The test medium and its flow conditions shall be specified (usually flowing water or flowing air).

3.10

type test

test conducted on one or more samples of the production to verify that the product is compliant with the requirements of IEC 61515 following the introduction or change of material specification, design or manufacturing process

3.11

routine test

test to which each individual product is subjected during or after manufacture to ascertain whether it complies with the requirements of IEC 61515

3.12

optional test

test that is performed upon agreement between a supplier and a user to ensure compliance with the user's specific application

4 General principles

4.1 A MIMS thermocouple

A MIMS thermocouple specified in this standard shall be made of a MIMS thermocouple cable that complies with this standard.

4.2 Electromotive force

The electromotive force (abbreviated EMF hereafter) versus temperature relationship shall comply with IEC 60584-1. The EMF tolerance, as specified in IEC 60584-1, should be agreed between the supplier and the user.

4.3 Materials and their properties

4.3.1 Sheath

The sheath material shall be of qualified stainless steel or high nickel alloy or other metals selected by agreement between users and suppliers. It shall be chosen to suit user's application in order to protect the thermocouple during use. The general surface finish of the sheath upon delivery shall be equal to, or better than, roughness grade ISO 1302 scale 8 (3,2 μm Ra).

4.3.2 Conductors

Conductors shall be those forming thermocouple types T, J, E, K or N as specified in IEC 60584-1. This standard applies to thermocouple cables and thermocouples that have 1, 2 and 3 pairs of thermocouple conductors.

For duplex and triplex, cables basic adjacent conductor configurations are specified. Alternative configurations are acceptable by the agreement between supplier and user provided that all the other requirements of this standard are met.

Some examples of alternative adjacent conductor configurations are given in Annex A.

4.3.3 Insulation materials

The mineral insulation shall consist of compacted ceramic powder.

The purity of insulating material should be at least 96 % and informative compositions are shown in Annex B.

Specific requirements, concerning the purity of the insulation material, can be customized by agreement between the user and the supplier.

4.4 Maximum operating temperature

Definitive maximum operating temperatures cannot be specified because of the number of influencing factors. Instead Annex C gives indicative temperature limits which are the recommended maximum operating temperatures for the standardized thermocouples and some commonly used sheath materials and diameters. They are to be considered only as guidance for users.

4.5 Dimensions

4.5.1 Transverse section of MIMS thermocouple cables and thermocouples

The outside diameter, conductor diameter and sheath wall thickness shall be as specified in the following 4.5.2 to 4.5.4. Throughout this standard the following symbols are used.

- outside diameter D ;
- conductor diameter C ;
- sheath wall thickness S ;
- insulation thickness I .

The insulation thickness I is not quantified in this standard. It shall be such that the specified requirements for dielectric strength (specified in 5.2.2.3 and 5.3.2.3) and insulation resistance

(specified in 5.2.2.5 and 5.3.2.4) shall be met. (The maximum value of the insulation thickness can be deduced from the specified value of D , S and C). Conductors shall be approximately evenly spaced unless specified otherwise. The following Figures 1, 2 and 3, as well as Figures A.1, A.2, A.3 and A.4 clarify which part the specifications of D , C and S are applied to. Insulation thickness is always given in brackets in those figures because it is not numerically specified.

4.5.2 Transverse section of simplex cable and thermocouple

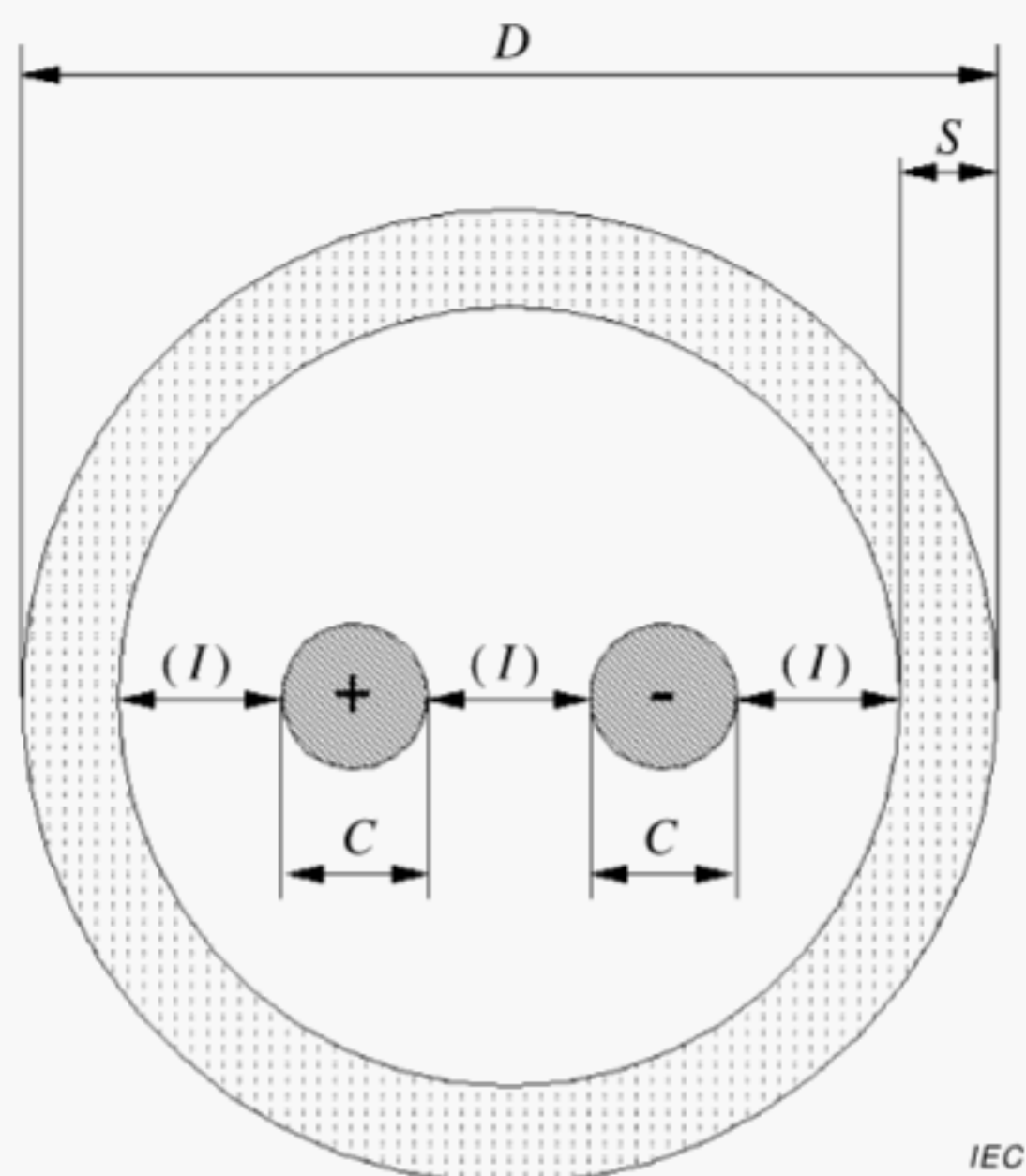


Figure 1 – Transverse section of simplex

Table 1 – Dimensional specifications of simplex

Outside diameter D and its tolerance mm	Minimum sheath wall thickness S mm	Minimum diameter of conductor C mm
0,5 ± 0,025	0,05	0,08
1,0 ± 0,025	0,10	0,15
1,5 ± 0,025	0,15	0,23
2,0 ± 0,025	0,20	0,30
3,0 ± 0,030	0,30	0,45
3,2 ± 0,032	0,32	0,48
4,0 ± 0,040	0,40	0,60
4,5 ± 0,045	0,45	0,68
4,8 ± 0,048	0,48	0,72
6,0 ± 0,060	0,60	0,90
6,4 ± 0,064	0,64	0,96
8,0 ± 0,080	0,80	1,20
9,5 ± 0,095	0,95	1,43
10,8 ± 0,108	1,08	1,62

Sizes not included in Table 1 are acceptable provided that the sheath wall thickness is not less than 10 % of the thermocouple cable diameter (D) and the conductor diameter (C) is not less than 15 % of D . The tolerance on D shall be the greater of 0,025 mm or $0,01 \cdot D$.

4.5.3 Transverse section of duplex cable and thermocouple

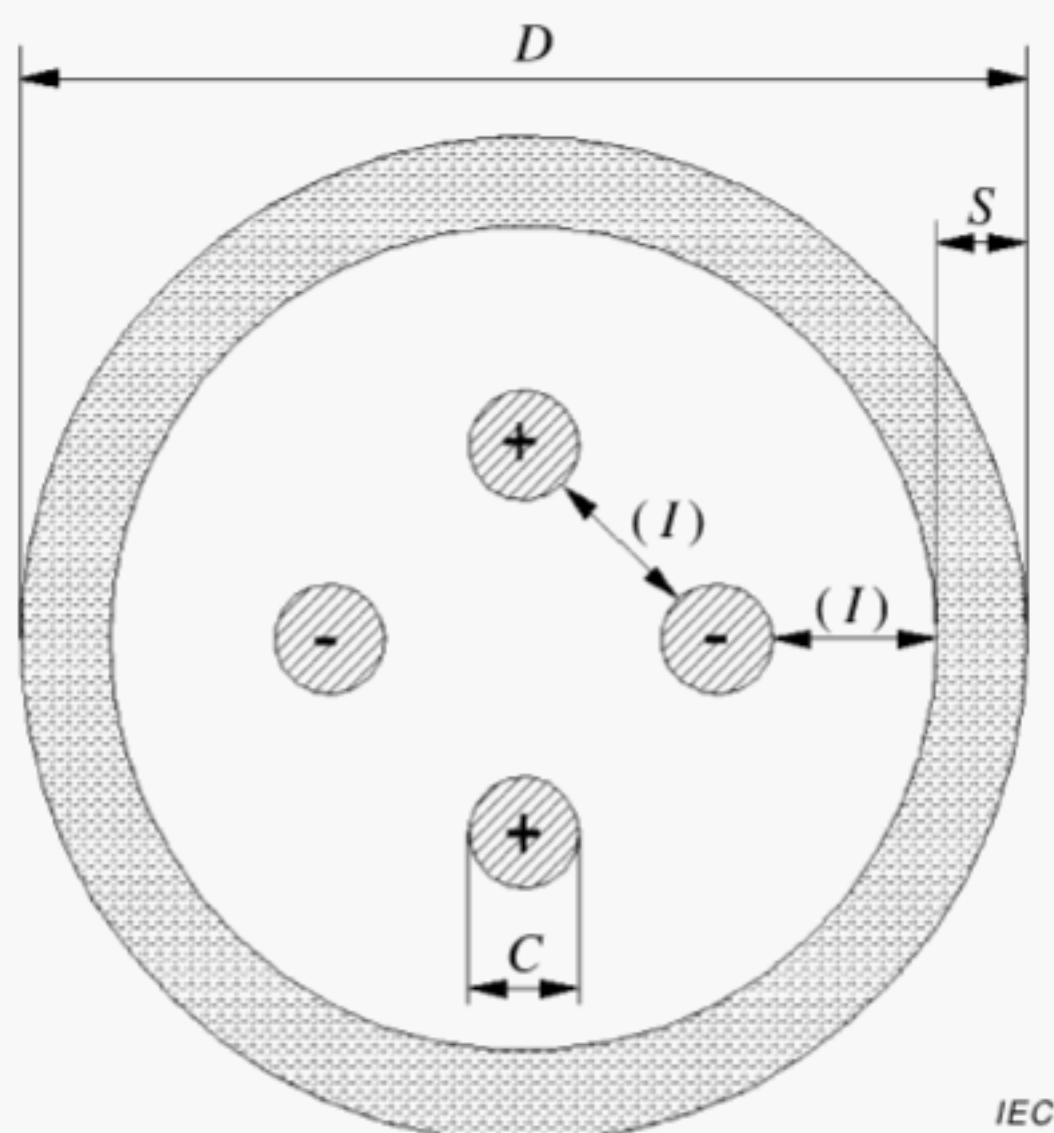


Figure 2 – Transverse section of duplex

Table 2 – Dimensional specifications of duplex

Outside diameter D and its tolerance mm	Minimum sheath wall thickness S mm	Minimum diameter of conductor C mm
1,5 ± 0,025	0,14	0,17
2,0 ± 0,025	0,18	0,22
3,0 ± 0,030	0,27	0,33
3,2 ± 0,032	0,29	0,35
4,0 ± 0,040	0,36	0,44
4,5 ± 0,045	0,41	0,50
4,8 ± 0,048	0,43	0,53
6,0 ± 0,060	0,54	0,66
6,4 ± 0,064	0,58	0,70
8,0 ± 0,080	0,72	0,88
9,5 ± 0,095	0,86	1,05
10,8 ± 0,108	0,97	1,19

Sizes not included in Table 2 are acceptable provided that sheath wall thickness is not less than 9 % of the thermocouple cable diameter (D) and conductor diameter (C) is not less than 11 % of D . The tolerance on D , shall be the greater of 0,025 mm or $0,01 \cdot D$.

4.5.4 Transverse section of triplex cable and thermocouple

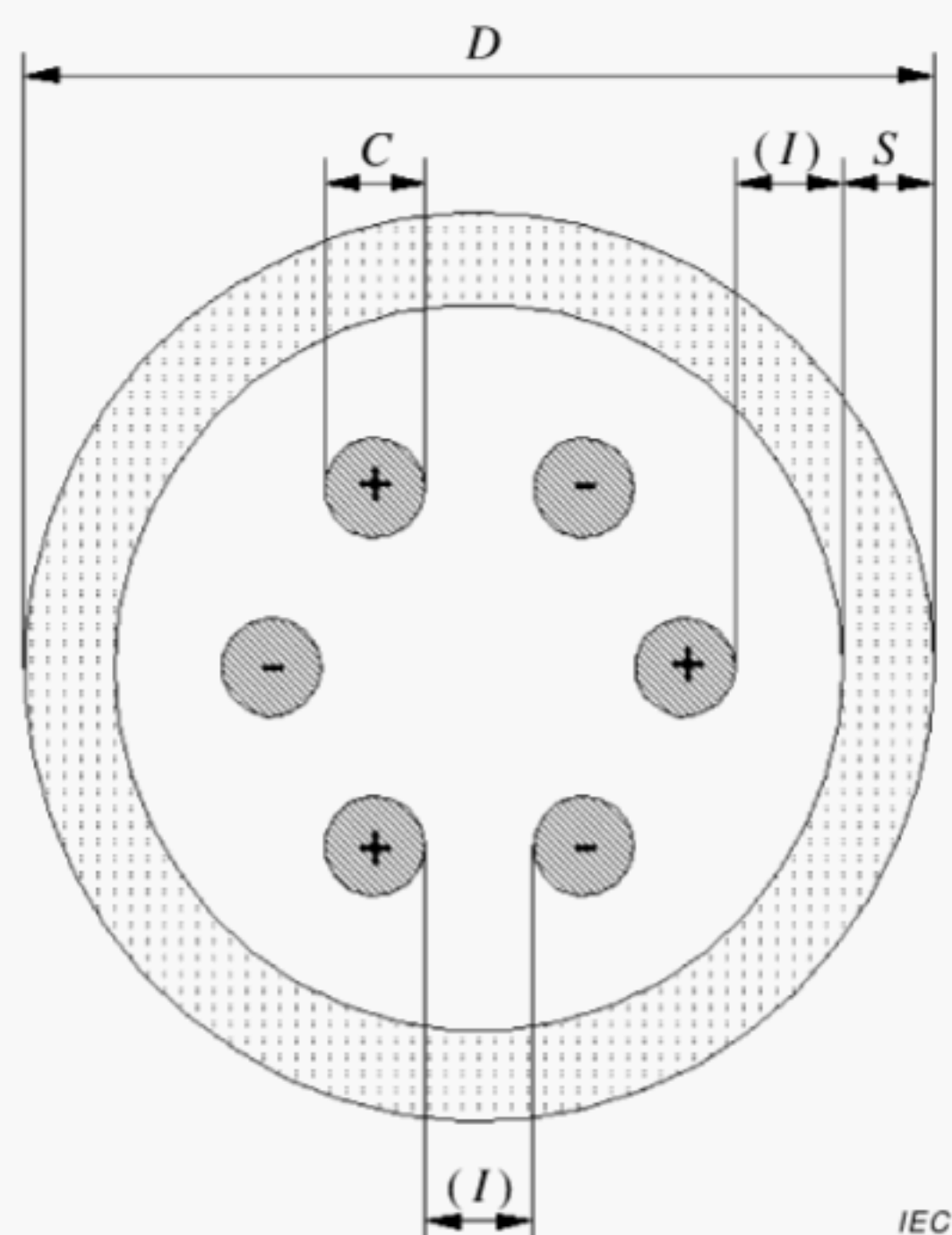


Figure 3 – Transverse section of triplex

Table 3 – Dimensional specifications of triplex

Outside diameter D and its tolerance mm	Minimum sheath wall thickness S mm	Minimum diameter of conductor C mm
$3,0 \pm 0,030$	0,24	0,27
$3,2 \pm 0,032$	0,26	0,29
$4,0 \pm 0,040$	0,32	0,36
$4,5 \pm 0,045$	0,36	0,41
$4,8 \pm 0,048$	0,38	0,43
$6,0 \pm 0,060$	0,48	0,54
$6,4 \pm 0,064$	0,51	0,58
$8,0 \pm 0,080$	0,64	0,72
$9,5 \pm 0,095$	0,76	0,86
$10,8 \pm 0,108$	0,86	0,97

Sizes not included in the Table 3 are acceptable provided that sheath wall thickness is not less than 8 % of the thermocouple cable diameter (D) and conductor diameter (C) is not less than 9 % of D . The tolerance on D shall be $0,01 \cdot D$.

5 Requirements and verification tests

5.1 General

Tests are divided into three categories, type tests, routine tests and optional tests. The type tests and the routine tests are mandatory. Therefore suppliers shall keep the record of the test result which shall be provided to users upon request. Optional tests are not required unless they

are requested. Details of the optional tests shall be determined by agreement between the supplier and the user.

Some routine tests can be replaced by sampling tests provided technically established control procedures are in place to demonstrate that the statistical sample testing is sufficient. In this case the supplier shall make documentation of the statistical process available to the user upon request.

Table 4 – Tests for MIMS thermocouple cables and thermocouples

Test item	MIMS cable			MIMS thermocouple		
	Type test	Routine test	Optional test	Type test	Routine test	Optional test
Dimensions	5.2.1.1					
Outside diameter	5.2.1.2	5.2.1.2				
Surface finish	5.2.1.3	5.2.1.3				5.3.1.3
Verification of sheath integrity	5.2.1.4	5.2.1.4				
Sheath ductility	5.2.1.5					
Conductor ductility	5.2.1.6					
Sheath material identification			5.2.1.7			
Electrical continuity	5.2.2.1	5.2.2.1		5.3.2.1	5.3.2.1	
Electrical resistance of conductor	5.2.2.2	5.2.2.2				5.3.2.6
Dielectric strength	5.2.2.3	5.2.2.3		5.3.2.3		
Verification of EMF-temperature relationship	5.2.2.4	5.2.2.4				5.3.2.7
Insulation resistance at ambient temperatures	5.2.2.5	5.2.2.5		5.3.2.4	5.3.2.4	
Insulation resistance at elevated temperatures			5.2.2.6			5.3.2.5
Outside diameter of a thermocouple at the measuring junction				5.3.1.1	5.3.1.1	
Dimensions of longitudinal section of measuring junction of a thermocouple				5.3.1.2		
Weld closure integrity				5.3.1.4		5.3.1.4
Cold seal immersion test (Insulated thermocouples only)				5.3.1.5		
Radiographic inspection						5.3.1.6
Vibration test						5.3.1.7
Drop test						5.3.1.8
Polarity				5.3.2.2	5.3.2.2	
Thermal response time						5.3.2.8

5.2 MIMS thermocouple cables: requirements and verification tests

5.2.1 Structure and mechanical properties

5.2.1.1 Dimensions of transverse section

The outside diameter, sheath thickness, conductor diameter and insulation thickness shall be optically measured at necessary magnification. Dimensions specified in 4.5 shall be met.

5.2.1.2 Outside diameter

The outside diameter of each MIMS thermocouple cable shall be measured in two planes 90° apart using a flat anvil micrometer. Outside diameter specified in 4.5 shall be met.

5.2.1.3 Surface finish

Thermocouple cables shall be visually free from defects, indentations and inclusions. The general surface finish of the sheath upon delivery shall be equal to, or better than, roughness grade ISO 1302 scale 8 (3,2 µm Ra).

5.2.1.4 Verification of sheath integrity

To ensure that the sheath is free from holes, cracks and other defects and protects thermocouple conductor adequately from penetration of gases and liquids the following test shall be carried out. Thermocouple cables shall be immersed in water for 5 min (excluding thermocouple cable ends). Upon removal, the insulation resistance shall be measured and the insulation resistance shall comply with the specification provided in 5.2.2.5. Alternative test method and acceptance criteria shall be established by agreement between the user and the supplier.

5.2.1.5 Sheath ductility

A sample thermocouple cable length shall be coiled 3 turns round a mandrel with a diameter of 6 times the sample diameter. The ends of the sample shall be sealed to prevent ingress of moisture. The sample, excluding the sealed thermocouple cable ends, shall be immersed in water. Upon removal from the water, the insulation resistance shall be measured. It shall meet the requirements of the specification provided in 5.2.2.5.

5.2.1.6 Conductor ductility

The sheath of a sample thermocouple cable length shall be stripped back to expose a minimum of 25 mm of the conductors. Each conductor shall be bent back and forth around a mandrel whose diameter is 4 times the minimum conductor diameter *C* specified in 4.5 without visible signs of fracture.

5.2.1.7 Sheath material identification

Identification of the sheath materials shall be performed by means of quantitative spectral analysis on a representative sample taken from the coil of the cable. The acceptance criteria shall be established by agreement between the user and the supplier.

Alternative methods and acceptance criteria shall be established by agreement between the user and the supplier.

5.2.2 Electrical characteristics and performance

5.2.2.1 Electrical continuity

The electrical continuity of each conductor in each coil of thermocouple cable shall be verified.

5.2.2.2 Electrical resistance of a conductor

The resistance of each conductor shall be measured, calculated to 1 m length and corrected to 20 °C. It shall be less than the supplier's specified maximum resistance.

5.2.2.3 Dielectric strength

A test voltage as indicated in Table 5 shall be applied between each conductor and the sheath and between a pair of conductors under ambient conditions (20 °C ± 15 °C and a relative

humidity of not more than 80 %) for a period of 1 min (in the case of AC voltage, Table 5 refers to the peak voltage value.) For duplex and triplex cables, the same test procedure between each conductor and the sheath and between every pair of conductors shall be applied. During this test no breakdown shall occur.

Table 5 – Test voltage for dielectric strength

Thermocouple cable diameter D mm	Test voltage V_{dc}		
	Simplex	Duplex	Triplex
$D \leq 1,6$	100	–	–
$1,6 < D \leq 2,0$	100	100	–
$2,0 < D \leq 3,2$	250	250	100
$3,2 < D$	500	500	500

5.2.2.4 Verification of EMF-temperature relationship

EMF of a sample from every production length of thermocouple cable shall be measured at intended maximum upper temperature and at two or more other temperatures, evenly distributed in the range. The EMF tolerance, as specified in IEC 60584-1, should be agreed between the supplier and the user.

5.2.2.5 Insulation resistance at ambient temperature

The insulation resistance between the sheath and each conductor, and between the two conductors, under ambient conditions ($20\text{ °C} \pm 15\text{ °C}$ and a relative humidity of not more than 80 %) shall be measured on thermocouple cables. Both ends of the cables shall be sealed to prevent moisture ingress. The minimum insulation resistance values specified in Table 6 shall be attained within 1 minute of the test voltage application. The measured value of the insulation resistance shall be made available to the user on request.

Table 6 – Minimum insulation resistance at ambient temperature (MIMS cables)

Thermocouple cable diameter D mm	Test voltage V_{dc}	Minimum insulation resistance $M\Omega \cdot m^a$
$D \leq 1,0$	50 to 100	1 000
$1,0 < D \leq 1,6$	50 to 100	5 000
$1,6 < D$	450 to 550	10 000
^a The insulation of a MIMS thermocouple cable has finite conductivity and therefore the insulation resistance decreases as the length of the thermocouple cable increases. The conductance of a specific thermocouple cable is therefore expressed in $S \cdot m^{-1}$ (equivalent to $\Omega^{-1} \cdot m^{-1}$) and the minimum specified insulation resistance is expressed in $\Omega \cdot m$, $k\Omega \cdot m$ or $M\Omega \cdot m$ for thermocouple cables.		

5.2.2.6 Insulation resistance at elevated temperatures

The insulation resistance of a sample from production length of thermocouple cable shall be measured at elevated temperatures. If it is necessary, EMF effect shall be cancelled by averaging the two measurements with alternative polarity. Thermocouple cable end or ends not immersed into the furnace shall be sealed. Immersed length at each test temperature shall be not less than 0,3 m where the temperature uniformity must be assured within listed value of the test temperature. Those lengths of the thermocouple cable being not at elevated temperatures shall be maintained at $20\text{ °C} \pm 15\text{ °C}$. The minimum insulation resistance values specified in Table 7 shall be attained within 1 minute of the test voltage application. Acceptance criteria

other than those in Table 7 shall be established by agreement between the user and the supplier.

Table 7 – Insulation resistance at elevated temperatures (MIMS cables)

Applicable thermocouple type	Test temperature °C	Minimum insulation resistance		
		0,5 < D ≤ 1,6 (Test voltage is 50 Vdc) MΩ·m	1,6 < D ≤ 3,2 (Test voltage is 100 Vdc) MΩ·m	3,2 < D (Test voltage is 100 Vdc) MΩ·m
T, J, E, K, N	300 ± 15	150	300	1 000
J, E, K, N	500 ± 15	7,5	15	30
E, K, N	800 ± 15	0,075	0,15	0,3
K, N	1 000 ± 15	–	0,003	0,006
NOTE D denotes thermocouple cable diameter in mm.				

5.3 MIMS thermocouples: requirements and verification tests

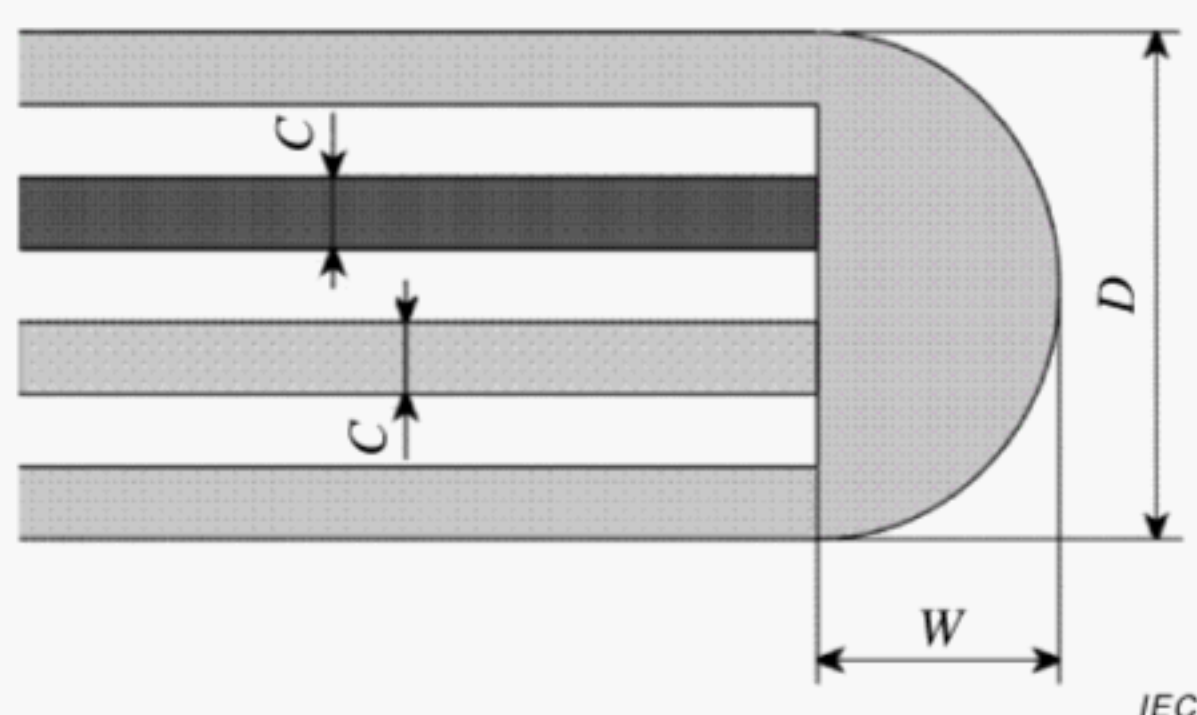
5.3.1 Structure and mechanical properties

5.3.1.1 Outside diameter of a thermocouple at the measuring junction

The outside diameter of grounded and insulated junction thermocouple at the measuring junction shall be measured in two planes 90° apart using a flat anvil micrometer or gauge from the top to a distance of five times the outside diameter. The tolerance of the outside diameter at the measuring junction shall be the greater of 0,05 mm or 0,01·D.

5.3.1.2 Dimensions of longitudinal section of measuring junction of a thermocouple

Dimensional requirements of weld thickness at the measuring junction for a MIMS thermocouple shall be as specified in Figure 4 for grounded measuring junction thermocouple and as specified in Figure 5 for insulated junction thermocouple.



Dimension	Magnitude
W = Weld thickness	Min. 0,1·D Max. 0,8·D

Figure 4 – Longitudinal section of a grounded junction

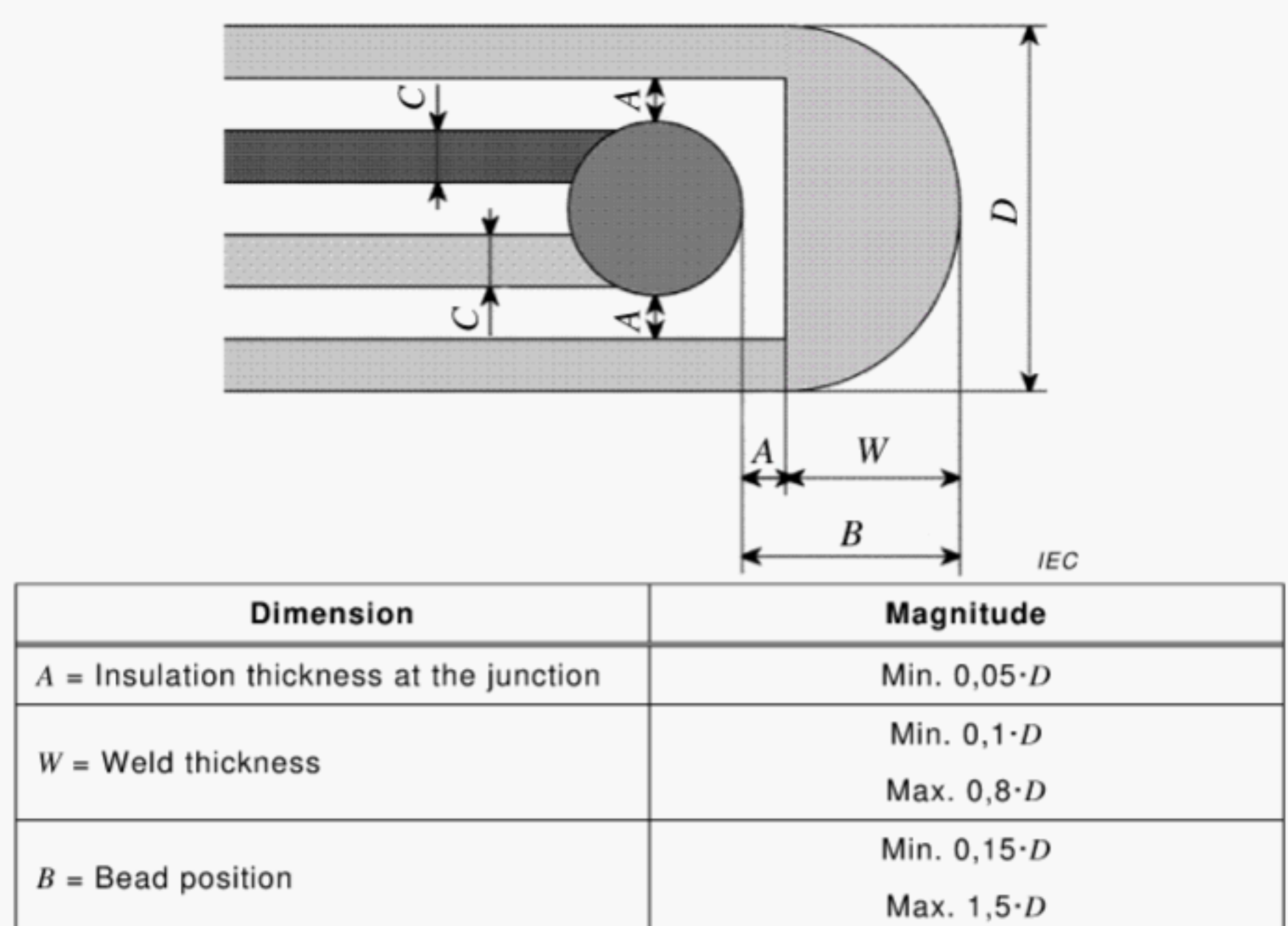


Figure 5 – Longitudinal section of an insulated junction

5.3.1.3 Surface finish of a thermocouple

The surface of the finished thermocouple shall be visually clean and dry. The general surface finish shall be equal to or better than roughness grade number ISO 1302 Scale 8 ($3,2 \mu\text{m Ra}$). The roughness shall be determined by means of roughness comparison specimens.

5.3.1.4 Weld closure integrity

5.3.1.4.1 General

Weld closure integrity of both of insulated and grounded junction thermocouples shall be verified by one of the tests specified in 5.3.1.4.2 to 5.3.1.4.4. The test method shall be agreed between the supplier and user.

5.3.1.4.2 Water quench test (insulated junction thermocouples only)

The measuring junction of the thermocouple of which the cold end is sealed shall be subjected to a minimum temperature of 300°C for a minimum time of 5 min with the immersion length being more than 10 times the diameter and then immediately plunged into water at room temperature. The insulation resistance shall be measured while the thermocouple is immersed. The insulation resistance shall meet the requirements of 5.3.2.4.

NOTE This test may affect the EMF characteristics of the thermocouple under test.

5.3.1.4.3 Test by pressurization with inert gas

The measuring junction of the thermocouple of which the cold end is sealed shall be externally pressurized in an inert gas for approximately 60 s at a minimum of 1 MPa or at a pressure of 2,5 MPa for 30 s. After pressurization, it shall be immediately immersed in water or alcohol. There shall be no bubbling from the weld closure.

5.3.1.4.4 Liquid nitrogen test

The measuring junction of the thermocouple of which the cold end is sealed shall be immersed in liquid nitrogen with immersion length of minimum of 3 times the diameter of the thermocouple

until the temperature is stabilized, after which it shall be immediately immersed in water or alcohol. There shall be no bubbling from the weld closure.

5.3.1.4.5 Dye penetration test

By agreement between a user and a supplier, dye penetration test can be arranged as an additional alternative test method for the weld closure integrity. The test is a visual examination of the surface of the weld. The examiner first applies dedicated liquid penetrant to the surface of the weld and wipes off surplus residue. Defects such as weld porosity or cracks which are present on the surface of the material can be detected visually.

5.3.1.5 Cold seal immersion test (insulated junction thermocouples only)

Permanent cold seal terminations shall be immersed in water for a minimum of 1 h. Upon removal, the surface of the seal shall be hand dried without heating and immediately the insulation resistance shall be measured. The result shall meet the criteria specified in 5.3.2.4.

5.3.1.6 Radiographic inspection

Radiographs of the measuring junction region shall be made in two mutually perpendicular planes to confirm dimensional requirements specified in 5.3.1.2.

5.3.1.7 Vibration test

Vibration tests may be performed for the thermocouples used in a specific environment with possible vibrations. The thermocouple shall be mounted as it will be installed. Test methods shall comply with IEC 60068-2-6. The parameters such as frequency range and forcing acceleration of the vibration shall be determined by the agreement between the user and the supplier. The tested thermocouple shall comply with all the other applicable requirements specified in 5.3 of this standard.

5.3.1.8 Drop test

This test is intended to reveal any weakness of construction. The thermocouple shall be held with its longitudinal axis horizontal then be dropped ten times from the height of 250 mm on to a 6 mm thick steel plate on a rigid floor. After that the thermocouple shall be inspected for mechanical damage. The tested thermocouple shall comply with all the other applicable requirements specified in 5.3 of this standard.

5.3.2 Electrical characteristics and performance

5.3.2.1 Electrical continuity of a conductor pair

Electrical continuity of each conductor pair shall be verified. For a grounded junction thermocouple, electrical continuity of each pair of conductors to sheath shall be verified. This test shall be so conducted that stable continuity is assured including any kind of incorporated electric connection such as lead wires, a connector and electric terminals.

5.3.2.2 Polarity

A pair or pairs of thermocouple conductors including any kind of electric connection which is incorporated with the thermocouple shall be checked for polarity identifications.

5.3.2.3 Dielectric strength (insulated junction thermocouples only)

A test voltage as indicated in Table 5 shall be applied between the conductors and the sheath of the thermocouple under ambient conditions ($20\text{ °C} \pm 15\text{ °C}$ and a relative humidity of not more than 80 %) for a period of 1 min (in the case of AC voltage, Table 5 refers to the peak voltage value.) For duplex and triplex thermocouple, the same test procedure between every pair of

conductors and sheath and between any two thermocouple pairs shall be applied. During this test, no breakdown shall occur.

5.3.2.4 Insulation resistance at ambient temperature (insulated junction thermocouples only)

The insulation resistance under ambient conditions ($20\text{ °C} \pm 15\text{ °C}$ and relative humidity of not more than 80 %) shall be measured on the thermocouple. The minimum insulation resistance values specified in Table 8 shall be attained within 1 min of the test voltage application. For duplex and triplex thermocouple the same test procedure between every pair of conductors and sheath and between any two thermocouple pairs shall be applied. The measured value of the insulation resistance shall be made available to the user on request.

Table 8 – Minimum insulation resistance at ambient temperature

Thermocouple diameter D (mm) and test voltage (Vdc)	Minimum insulation resistance MΩ
$0,5 < D \leq 1,6$; 100 Vdc	20
$1,6 < D$; 500 Vdc	1 000
For thermocouples longer than 10 m, minimum insulation resistance value shall be determined by agreement between user and supplier.	

5.3.2.5 Insulation resistance at elevated temperatures (insulated junction thermocouples only)

The insulation resistance shall be measured on a thermocouple under the following conditions. The thermocouple shall be immersed so that it is exposed to the specified temperature for a length not less than 0,1 m. If it is necessary, EMF effect shall be cancelled by averaging the two measurements with alternative polarity. The minimum insulation resistance specified in Table 9 shall be attained within 1 min of the test voltage application. Acceptance criteria other than those in Table 9 shall be established by agreement between the user and the supplier.

Table 9 – Insulation resistance at elevated temperatures (MIMS thermocouples)

Applicable thermocouple type	Test temperature °C	Minimum insulation resistance		
		$0,5 \leq D \leq 1,6$ (Test voltage is 50 Vdc) MΩ	$1,6 < D \leq 3,2$ (Test voltage is 100 Vdc) MΩ	$3,2 < D$ (Test voltage is 100 Vdc) MΩ
T, J, E, K, N	300 ± 15	250	500	1 000
J, E, K, N	500 ± 15	25	50	100
E, K, N	800 ± 15	0,25	0,5	1
K, N	$1\,000 \pm 15$	–	0,01	0,02
NOTE D denotes thermocouple diameter in mm. The length of the test sample immersed in the elevated temperature is 0,1 m and the listed values of the table refer to the insulation resistance of this test unit.				

5.3.2.6 Electrical resistance of a conductor pair

The conductor loop resistance shall be measured for each conductor pair. The resistance shall be less than the supplier's specified maximum loop resistance.

5.3.2.7 Verification of EMF-temperature relationship

A thermocouple shall be calibrated at temperatures agreed between the supplier and user. The EMF tolerance, as specified in IEC 60584-1, should be agreed between the supplier and the user.

5.3.2.8 Thermal response time

Starting from a steady temperature, the thermocouple shall quickly be inserted into flowing fluid, the temperature of which differs by at least 10 °C from the starting temperature. The thermal response time shall be recorded. Typically it is $\tau_{0,5}$, $\tau_{0,9}$ or $\tau_{0,1}$. Fluid velocity shall be more than 0,2 m/s for water and $(3 \pm 0,3)$ m/s for air. The velocity data shall be recorded.

6 Delivery condition for thermocouple cables

The ends of the thermocouple cable shall be sealed prior to shipping in order to prevent the ingress of moisture. Seal welding, epoxy or heat-shrink sleeves may be used.

7 Packaging

Prior to packaging, the thermocouple cable and thermocouple shall be free from grease, oil, dirt, scale and other foreign matter. The thermocouple cable and thermocouples shall be transported straight or in coils. When transported straight, they shall be boxed or supported to prevent bending. Coiled cable shall be bound together to prevent abrasion.

8 Marking

Each coil of thermocouple cable, or thermocouple unit, shall be clearly labelled or marked with at least the supplier's name and the following information, which may be in the form of an identification code:

- type of thermocouple;
- tolerance class;
- nominal diameter of a thermocouple cable or a thermocouple;
- number of pairs of conductors (simplex, duplex, triplex);
- material of sheath;
- length;
- traceable identification number (thermocouple cable only).

9 Certification

Upon request the supplier should provide certification data including

- nominal calibration temperatures, in °C;
- tolerance class and deviations from IEC 60584-1 in terms of temperature or EMF;
- conductor material and batch number;
- sheath material and batch number;
- insulation material and batch number.

Annex A (informative)

Alternative adjacent conductor configurations

A.1 General

The following Figures A.1, A.2, A.3 and A.4 show alternative adjacent conductor configurations (in addition to those shown in Figures 2 and 3) which are acceptable, by agreement between the supplier and the user. These products are compliant with this standard provided that all the other properties meet the requirements of this standard.

A.2 Duplex cable and thermocouple

Figure A.1 shows an alternative conductor configuration to that of Figure 2.

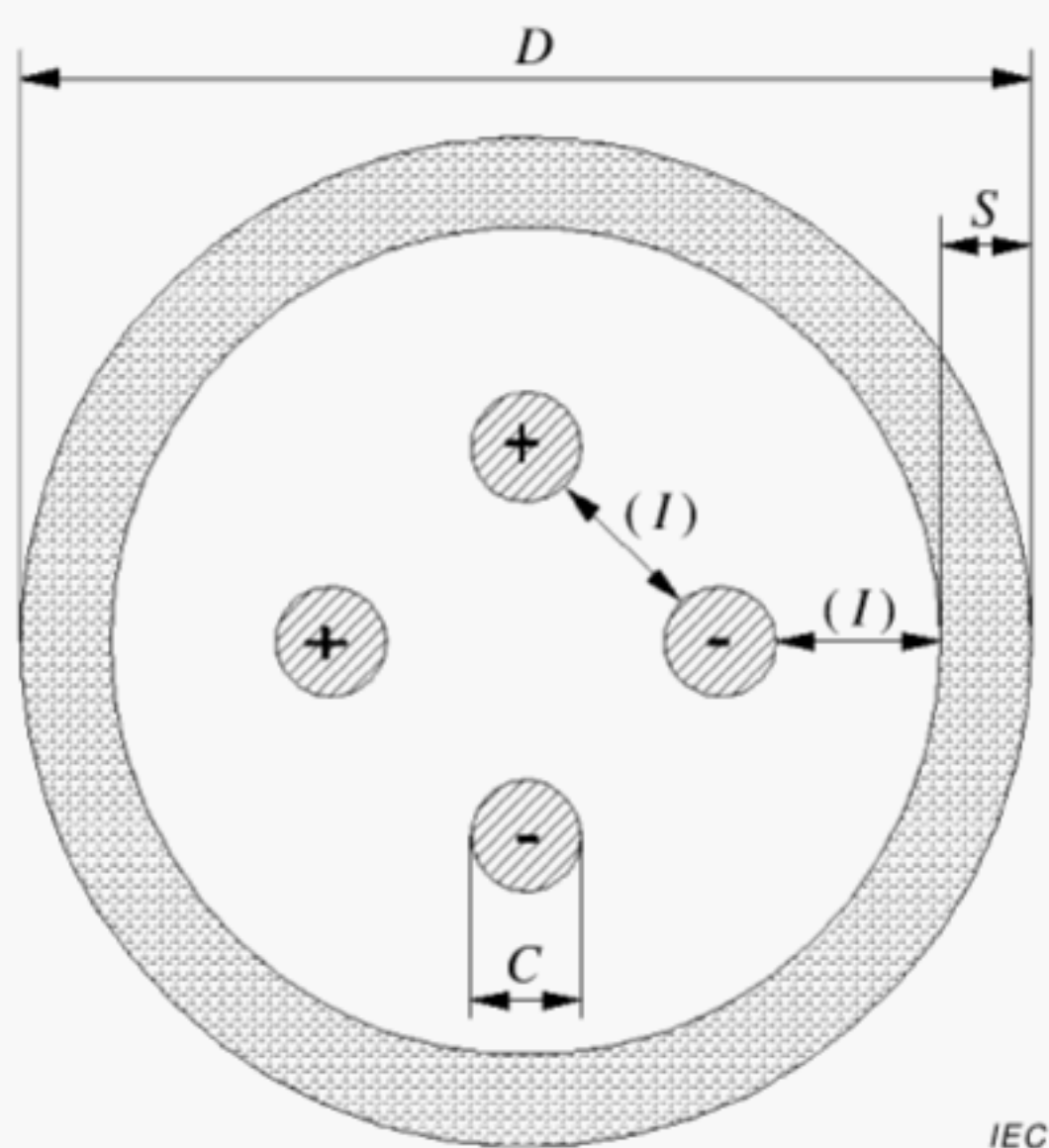
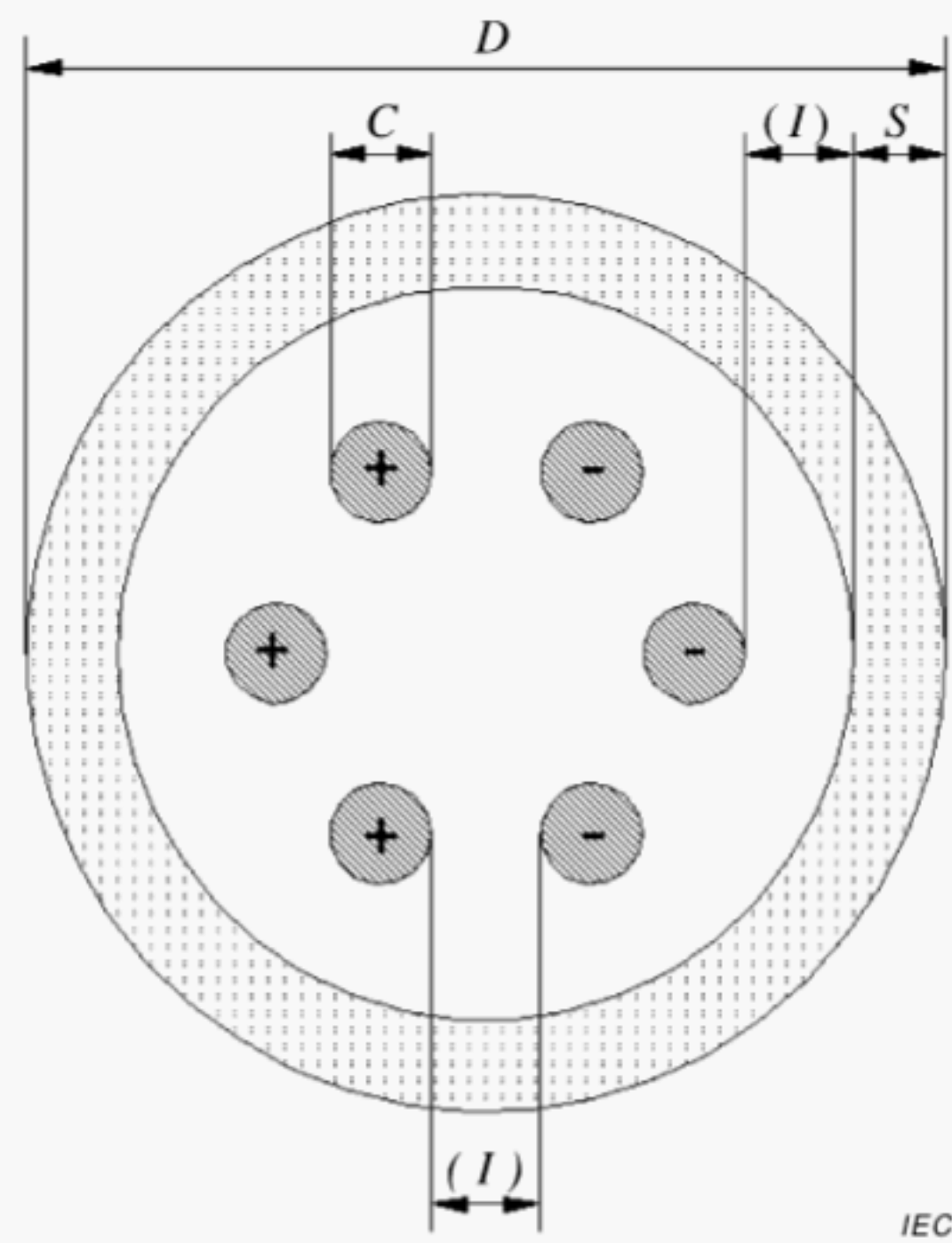


Figure A.1 – Alternative adjacent conductor configuration for duplex

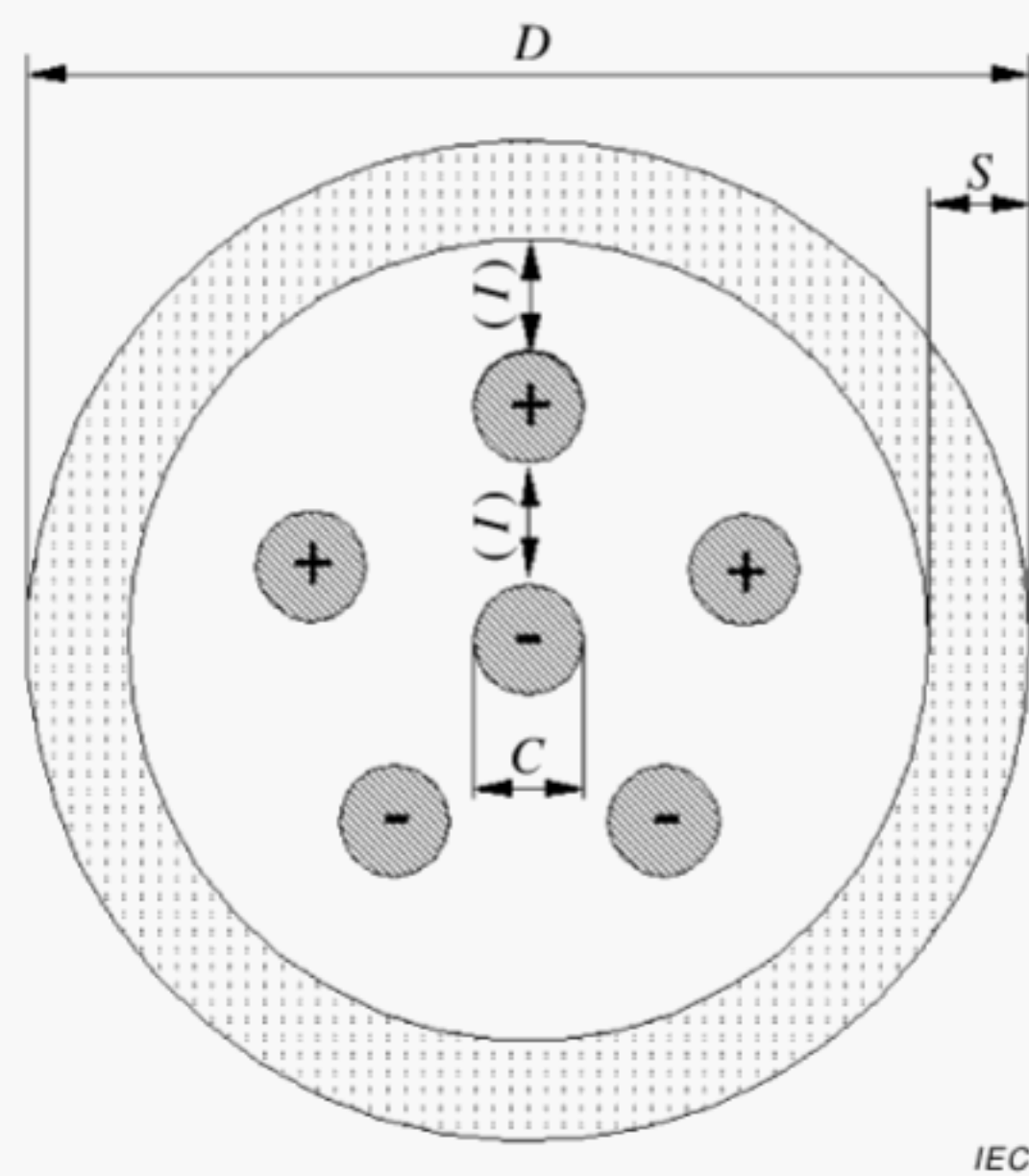
A.3 Triplex cable and thermocouple

Figures A.2, A.3 and A.4 show alternative conductor configurations to that of Figure 3.



IEC

Figure A.2 – Alternative adjacent conductor configuration for triplex (1)



IEC

Figure A.3 – Alternative adjacent conductor configuration for triplex (2)

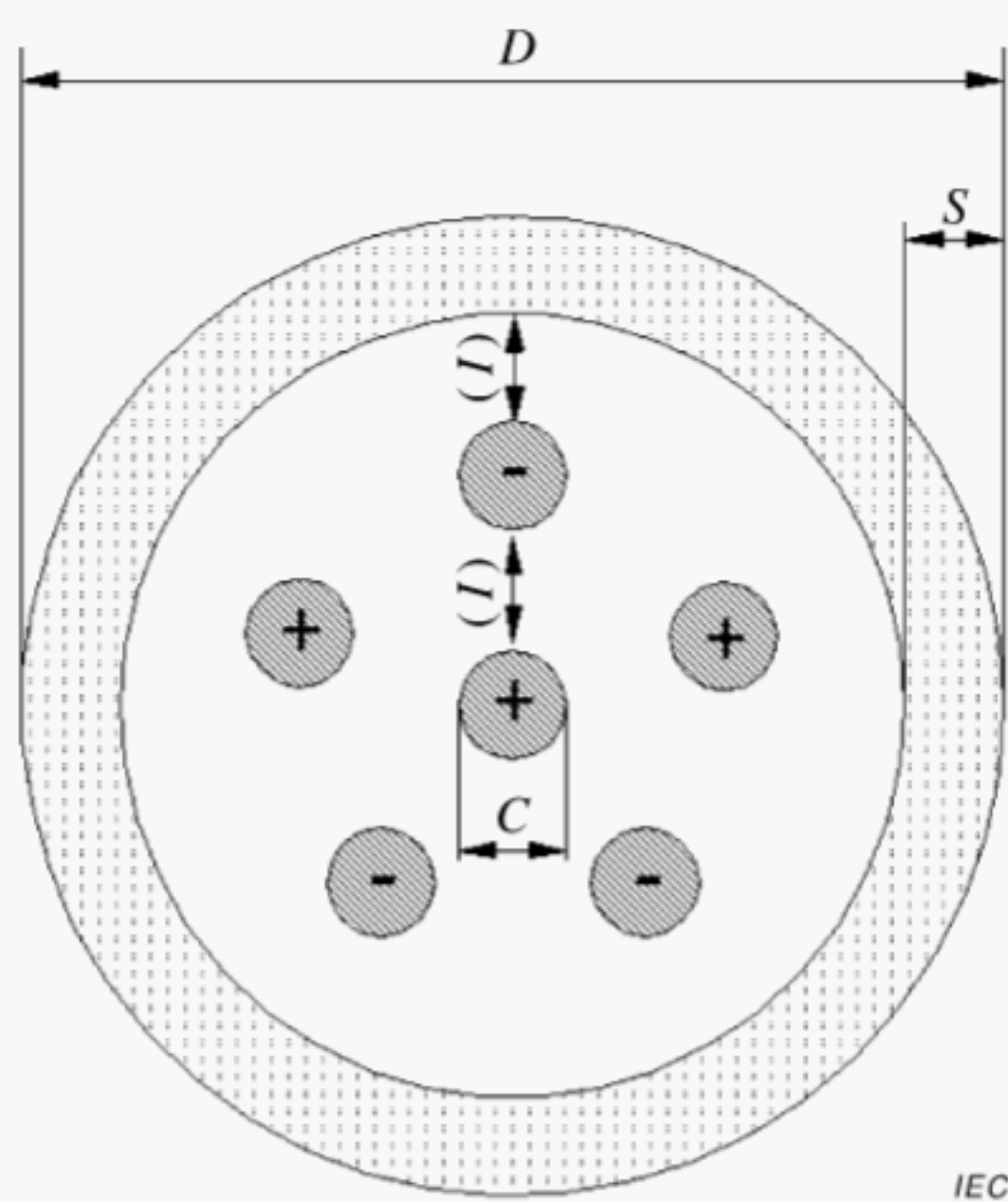


Figure A.4 – Alternative adjacent conductor configuration for triplex (3)

Annex B (informative)

Mineral insulation material chemical composition

Tables B.1 and B.2 show typical chemical composition of insulation material for MIMS thermocouple cables and thermocouples.

**Table B.1 – Example values of recommended magnesia (MgO) –
Chemical composition in weight percent**

Purity grade (minimum purity of magnesia)	Maximum impurity contents %							
	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	B	Cd	S	C
Standard purity (96 %)	3,50	1,50	4,00	0,15	0,005	0,001	0,002 5	0,020
Medium purity (97,0 %)	1,20	0,80	1,00	0,10	0,005	0,001	0,002 5	0,020
High purity (99,4 %)	0,13	0,35	0,15	0,10	0,0025	0,001	0,002 5	0,020

**Table B.2 – Example values of recommended alumina (Al₂O₃) –
Chemical composition in weight percent**

Purity grade Minimum purity of alumina)	Maximum impurity contents %									
	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	ZrO ₂	B	Cd	Na ₂ O	S	C
High purity (99,65 %)	0,10	0,08	0,08	0,10	0,080	0,001	0,001	0,06	0,005	0,01

Annex C (informative)

Indicative upper temperature limits

The following Table C.1 gives recommendations for the maximum temperatures (symbol T_{\max}) at which thermocouple cables and thermocouples should be used, continuously in non-circulating air, according to the thermocouple type, sheath material and diameter. Any use of thermocouples in corrosive or other reactive atmospheres will result in decreasing the maximum recommended temperatures. D in this table denotes outside diameter of a thermocouple in mm. Sheath material is specified by UNS (Unified numbering system) There are many other types of sheath materials available for MIMS cables which may be agreed between suppliers and users.

**Table C.1 – Indicative temperature limits of
MIMS thermocouple sheath and conductor combinations**

Material	D mm	T_{\max} for thermocouple type °C					Notes on the sheath material characteristics
		N	K	J	E	T	
S30400 S30403 S31600 S31603 S32100 S34700	8	800	800	720	800	370	S30400 is an 18/8 % chromium/nickel austenitic stainless steel and is usable in air to about 800 °C without excessive oxidation or loss in strength. It will not embrittle at sub zero temperatures. Normally non-magnetic but may be slightly so after heavy cold work. This steel contains up to 0,08 % of carbon and is therefore susceptible to weld decay corrosion after heating for prolonged time at 650 °C as would happen in the heat affected zone of a weld. Not recommended in sea water conditions due to susceptibility to stress corrosion.
	6	800	800	720	800	370	
	4,5	800	800	620	730	370	
	3	800	800	520	650	315	
	2	800	800	440	510	260	
	1,5	800	800	440	510	260	
	1	700	700	260	300	260	
	0,5	700	700	260	300	260	S30403 is a variant that has its carbon content reduced to a maximum of 0,03 % and at this composition becomes immune to weld decay. It is widespread in use. The properties otherwise are the same as Type 30400. S31603/S31600 is similar to the S30400 material with the addition of 2,5 % of molybdenum which greatly improve its resistance to corrosion by sulphuric acid. Stainless steels rely largely on a surface film of chromium oxide for their corrosion resistance but the presence of chlorides (saline solutions) can destroy this film and lead to rapid corrosion. The molybdenum addition makes the surface film more chloride resistant and more effective against stress corrosion cracking. Type S31603 is used more frequently for applications where salt water resistance is required. It is oxidation resistant up to 870 °C. S32100 has the same basic composition as S30400 but has titanium as a stabiliser, at 5 times the carbon content. Titanium has a high affinity for carbon and thus combines preferentially with it and prevents the formation of chromium carbide which is the cause of weld decay. Type S34700 has similar properties to S30400, but it is beginning to lose its status due to the wide availability of S30403.
S31000 S31003	8	1 050	1 050	720	820	370	S31000 is a 25/20 % chromium/nickel austenitic stainless steel. It retains strength and oxidation resistance up to 1 050 °C but is otherwise similar to S30400. It is entirely a high temperature material and is not specified in wet corrosive conditions. It is not subject to weld decay because of the higher chromium content.
	6	1 050	1 050	720	820	370	
	4,5	1 050	1 050	620	730	370	
	3	1 050	1 050	520	650	315	
	2	920	920	440	510	260	

Material	D mm	T _{max} for thermocouple type °C					Notes on the sheath material characteristics
		N	K	J	E	T	
	1,5	920	920	440	510	260	
	1	700	700	260	300	260	
	0,5	700	700	260	300	260	
S44600	8	1 100	1 100	720	820	370	S44600 is a ferritic stainless steel containing 30 % of chromium but no nickel. It is magnetic and embrittled at low temperatures. It can be used under oxidation conditions to 1 100 °C but has superior resistance to sulphurous atmospheres to 900 °C. It is much more difficult to fabricate than austenitic types.
	6	1 100	1 100	720	820	370	
	4,5	1 100	1 100	620	730	370	
	3	1 070	1 070	520	650	315	
	2	920	920	440	510	260	
	1,5	920	920	440	510	260	
	1	700	700	260	300	260	
	0,5	700	700	260	300	260	
UNS 6600	8	1 150	1 150	720	820	370	<p>Most commonly used High nickel alloy for sheath material is so called Alloy 600 and is a minimum 72 % nickel, 16 % chromium and 7 % iron alloy with exceptionally good oxidation resistance and strength up to temperatures of 1 100 °C to 1 150 °C. It is unsatisfactory in reducing sulphurous atmospheres above 550 °C due to excessive grain boundary attack. It is virtually immune to chloride induced stress corrosion cracking.</p> <p>The other type of high nickel special alloy is available in the market. This was developed for the thermocouple industry with exceptionally good oxidation resistance and strength at temperatures up to 1 250 °C. The limiting temperature in a reducing sulphurous atmosphere is 500 °C. In an oxidising sulphurous atmosphere it is 800 °C.</p>
	6	1 150	1 150	720	820	370	
	4,5	1 150	1 150	620	730	370	
	3	1 070	1 070	520	650	315	
	2	920	920	440	510	260	
	1,5	920	920	440	510	260	
	1	700	700	260	300	260	
	0,5	700	700	260	300	260	

Not all combinations of sheath materials and conductor materials are manufactured. The recommended temperatures are dictated by the survival of the sheath material and/or the stability of the thermocouple. They are intended as a guide, but they should not be taken as a guarantee of performance. In practice there will be considerable variability, depending on the conditions, total time of exposure, and especially at the higher temperatures. The user should discuss these and other aspects of performance with the supplier.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	30
INTRODUCTION.....	32
1 Domaine d'application.....	33
2 Références normatives	33
3 Termes et définitions	33
4 Principes généraux.....	35
4.1 Couple thermoélectrique MIMS.....	35
4.2 Force électromotrice	35
4.3 Matériaux et propriétés correspondantes	35
4.3.1 Gaine	35
4.3.2 Conducteurs	35
4.3.3 Matériaux d'isolation	35
4.4 Température de fonctionnement maximale.....	35
4.5 Dimensions	36
4.5.1 Section transversale des câbles et couples thermoélectriques MIMS.....	36
4.5.2 Section transversale du câble et du couple thermoélectriques simplex	36
4.5.3 Section transversale du câble et du couple thermoélectriques duplex.....	37
4.5.4 Section transversale du câble et du couple thermoélectriques triplex.....	38
5 Exigences et essais de vérification.....	39
5.1 Généralités	39
5.2 Câbles thermoélectriques MIMS: exigences et essais de vérification	40
5.2.1 Structure et propriétés mécaniques	40
5.2.2 Caractéristiques et performances électriques.....	41
5.3 Couples thermoélectriques MIMS: exigences et essais de vérification	43
5.3.1 Structure et propriétés mécaniques	43
5.3.2 Caractéristiques et performances électriques.....	46
6 Conditions de livraison des câbles thermoélectriques	47
7 Conditionnement	48
8 Marquage	48
9 Certification.....	48
Annexe A (informative) Variantes de configurations de conducteurs adjacents	49
A.1 Généralités	49
A.2 Câble et couple thermoélectriques duplex.....	49
A.3 Câble et couple thermoélectriques triplex	49
Annexe B (informative) Composition chimique du matériau d'isolation minérale.....	52
Annexe C (informative) Valeurs indicatives de la limite supérieure de température.....	53
Figure 1 – Section transversale du câble et du couple thermoélectriques simplex.....	36
Figure 2 – Section transversale du câble et du couple thermoélectriques duplex	37
Figure 3 – Section transversale du câble et du couple thermoélectriques triplex.....	38
Figure 4 – Section longitudinale d'une jonction reliée à la masse	44
Figure 5 – Section longitudinale d'une jonction isolée	44
Figure A.1 – Variante de configuration de conducteurs adjacents pour le type duplex.....	49
Figure A.2 – Variante de configuration de conducteurs adjacents pour le type triplex (1)	50

Figure A.3 – Variante de configuration de conducteurs adjacents pour le type triplex (2)50

Figure A.4 – Variante de configuration de conducteurs adjacents pour le type triplex (3)51

Tableau 1 – Spécifications dimensionnelles du câble et du couple thermoélectriques simplex.....37

Tableau 2 – Spécifications dimensionnelles du câble et du couple thermoélectriques duplex38

Tableau 3 – Spécifications dimensionnelles du câble et du couple thermoélectriques triplex39

Tableau 4 – Essais de câbles et couples thermoélectriques MIMS40

Tableau 5 – Tension d'essai de rigidité diélectrique42

Tableau 6 – Résistance d'isolement minimale à température ambiante (câbles MIMS).....42

Tableau 7 – Résistance d'isolement à températures élevées (câbles MIMS).....43

Tableau 8 – Résistance d'isolement minimale à température ambiante46

Tableau 9 – Résistance d'isolement à températures élevées (couples thermoélectriques MIMS)47

Tableau B.1 – Exemples de valeurs recommandées de magnésie (MgO) – Composition chimique en pourcentage de la masse52

Tableau B.2 – Exemples de valeurs recommandées d'alumine (Al₂O₃) – Composition chimique en pourcentage de la masse.....52

Tableau C.1 – Valeurs indicatives de limites de température de combinaisons de gaines et conducteurs de couples thermoélectriques MIMS.....53

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CÂBLES ET COUPLES THERMOÉLECTRIQUES À ISOLATION MINÉRALE DITS "CHEMISÉS"

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 61515 a été établie par le sous-comité 65B: Equipements de mesure et de contrôle-commande, du comité d'études 65 de l'IEC: Mesure, commande et automation dans les processus industriels.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1995. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) Les types duplex et triplex ont été normalisés.
- b) La spécification de la résistance d'isolement a été révisée pour permettre à l'utilisateur de choisir le produit le mieux adapté à l'emploi.

- c) Le Tableau 2 "Températures de fonctionnement maximales recommandées" de la version précédente a été considérablement développé et couvre notamment les matériaux de gainage nouvellement développés. Il a été déplacé à l'Annexe C.
- d) Les types d'essai et leurs méthodes ont été développés, et un tableau indicatif (Tableau 4) a été ajouté pour faciliter la compréhension de l'utilisateur.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
65B/1034/FDIS	65B/1038/RVD

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

INTRODUCTION

Cette nouvelle édition de l'IEC 61515 reflète les derniers développements en matière de technologies de production, ainsi que de matériaux de gainage et d'isolation. L'objectif est de mettre à la disposition des fournisseurs une norme souple leur permettant de proposer des produits aptes à l'emploi à un coût acceptable.

Elle donne également des lignes directrices informatives pour aider les utilisateurs à choisir des produits qui satisfont à leurs besoins.

L'Annexe A présente des variantes de configurations de conducteurs adjacents pour des câbles et couples thermoélectriques MIMS de types duplex et triplex.

L'Annexe B donne aux fournisseurs des recommandations concernant la composition du matériau d'isolation.

L'Annexe C donne aux utilisateurs des lignes directrices concernant les limites de température de fonctionnement.

CÂBLES ET COUPLES THERMOÉLECTRIQUES À ISOLATION MINÉRALE DITS "CHEMISÉS"

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale établit les exigences relatives aux câbles et couples thermoélectriques à isolation minérale dits "chemisés" de types simplex, duplex et triplex, qui sont destinés à des applications industrielles générales. L'abréviation MIMS (Mineral Insulated Metal-Sheathed) sera utilisée ci-après. Elle concerne les câbles et couples thermoélectriques à conducteurs à base de métaux usuels de types T, J, E, K et N uniquement. Les spécifications définies dans la présente norme s'appliquent aux câbles et ensembles de couples thermoélectriques neufs livrés à l'utilisateur. Elles ne s'appliquent pas au produit usagé.

Les joints extérieurs, les terminaisons, les connexions et autres accessoires ne relèvent pas du domaine d'application de la présente Norme internationale.

La présente norme ne s'applique pas aux câbles et couples thermoélectriques à base de métaux nobles. Les exigences particulières aux circuits primaires de centrales nucléaires font l'objet d'autres normes.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60068-2-6, *Essais d'environnement – Partie 2-6: Essais – Essai Fc: Vibrations (sinusoïdales)*

IEC 60584-1, *Couples thermoélectriques – Partie 1: Spécifications et tolérances en matière de FEM*

ISO 1302, *Spécification géométrique des produits (GPS) — Indication des états de surface dans la documentation technique de produits*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'IEC 60584-1 ainsi que les suivants s'appliquent.

3.1

câble thermoélectrique à isolation minérale dit "chemisé"

câble thermoélectrique MIMS

câble flexible constitué d'une ou de plusieurs paires de conducteurs thermoélectriques encapsulés dans une gaine métallique de protection, isolés les uns des autres et par rapport à la gaine par un matériau minéral compacté

Note 1 à l'article: L'abréviation "MIMS" est dérivée du terme anglais développé correspondant "mineral insulated metal-sheathed" et est utilisée dans la suite du texte.

3.2

couple thermoélectrique MIMS

couple thermoélectrique fabriqué à partir d'un câble thermoélectrique à isolation minérale dit "chemisé"

Note 1 à l'article: L'abréviation "MIMS" est dérivée du terme anglais développé correspondant "mineral insulated metal-sheathed".

3.3

couple thermoélectrique simplex

ensemble de couples thermoélectriques comprenant une paire de conducteurs thermoélectriques

3.4

couple thermoélectrique duplex

ensemble de couples thermoélectriques comprenant deux paires de conducteurs thermoélectriques

3.5

couple thermoélectrique triplex

ensemble de couples thermoélectriques comprenant trois paires de conducteurs thermoélectriques

3.6

jonction de mesure

jonction des conducteurs thermoélectriques soumise à la température à mesurer

3.7

jonction reliée à la masse

jonction métallisée

jonction reliée à la terre

jonction de mesure électriquement reliée à la gaine métallique

3.8

jonction isolée

jonction non mise à la masse

jonction de mesure électriquement isolée de la gaine métallique

3.9

temps de réponse thermique

temps que prend un couple thermoélectrique pour atteindre un pourcentage spécifié en réponse à un échelon de variation de température

Note 1 à l'article: Par exemple, le temps nécessaire pour enregistrer 50 % de l'échelon de variation s'écrit $\tau_{0,5}$.

Note 2 à l'article: Le milieu d'essai et ses conditions d'écoulement doivent être spécifiés (il s'agit généralement d'eau ou d'air en écoulement).

3.10

essai de type

essai réalisé sur un ou plusieurs échantillons de production visant à vérifier la conformité du produit aux exigences de l'IEC 61515 faisant suite à l'introduction ou à la modification du processus de spécification, de conception ou de fabrication du matériau

3.11

essai individuel de série

essai auquel est soumis chaque produit en cours ou en fin de fabrication pour vérifier qu'il satisfait aux exigences de l'IEC 61515

3.12

essai facultatif

essai effectué après accord entre un fournisseur et un utilisateur afin de s'assurer de la conformité à l'application spécifique de l'utilisateur

4 Principes généraux

4.1 Couple thermoélectrique MIMS

Un couple thermoélectrique MIMS spécifié dans la présente norme doit être réalisé à partir d'un câble thermoélectrique MIMS conforme à la présente norme.

4.2 Force électromotrice

La relation entre la force électromotrice (ci-après abrégée FEM) et la température doit satisfaire à l'IEC 60584-1. Il convient que le fournisseur et l'utilisateur s'accordent sur la tolérance de la FEM spécifiée dans l'IEC 60584-1.

4.3 Matériaux et propriétés correspondantes

4.3.1 Gaine

Le matériau de gainage doit être un acier inoxydable qualifié ou un alliage à haute teneur en nickel ou en d'autres métaux sélectionnés après accord entre le fournisseur et l'utilisateur. Le matériau doit être choisi en fonction de l'application de l'utilisateur afin d'assurer la protection du couple thermoélectrique en cours d'utilisation. La finition de surface générale de la gaine livrée doit être supérieure ou égale à la classe de rugosité 8 de l'ISO 1302 (3,2 µm Ra).

4.3.2 Conducteurs

Les conducteurs doivent correspondre à ceux qui constituent les couples thermoélectriques de types T, J, E, K ou N spécifiés dans l'IEC 60584-1. La présente norme s'applique aux câbles et couples thermoélectriques qui utilisent 1, 2 et 3 paires de conducteurs thermoélectriques.

Dans le cas des câbles de types duplex et triplex, des configurations de base sont spécifiées pour les conducteurs adjacents. Des variantes de configurations sont acceptables après accord entre le fournisseur et l'utilisateur, sous réserve de satisfaire aux autres exigences de la présente norme.

Quelques exemples de variantes de configurations de conducteurs adjacents sont fournis à l'Annexe A.

4.3.3 Matériaux d'isolation

L'isolation minérale doit être à base de poudre céramique compactée.

Il convient que le matériau d'isolation présente une pureté d'au moins 96 %; des compositions indicatives sont données à l'Annexe B.

D'autres exigences spécifiques à la pureté du matériau d'isolation peuvent être convenues entre le fournisseur et l'utilisateur.

4.4 Température de fonctionnement maximale

Du fait du nombre élevé de facteurs d'influence, des températures de fonctionnement maximales définitives ne peuvent pas être spécifiées. En revanche, l'Annexe C donne des valeurs indicatives de limites de température correspondant aux températures de fonctionnement maximales recommandées pour les couples thermoélectriques normalisés,

ainsi que pour certains matériaux de gainage et diamètres de gaines couramment utilisés. Ces valeurs doivent uniquement servir de lignes directrices aux utilisateurs.

4.5 Dimensions

4.5.1 Section transversale des câbles et couples thermoélectriques MIMS

Le diamètre extérieur, le diamètre du conducteur et l'épaisseur de paroi de la gaine doivent correspondre à ceux spécifiés en 4.5.2 à 4.5.4 ci-après. Les symboles suivants sont utilisés dans la présente norme:

- diamètre extérieur D ;
- diamètre du conducteur C ;
- épaisseur de paroi de la gaine S ;
- épaisseur de l'isolation I .

L'épaisseur de l'isolation I n'est pas quantifiée dans la présente norme. Elle doit satisfaire aux exigences de rigidité électrique (spécifiées en 5.2.2.3 et en 5.3.2.3) et de résistance d'isolement (spécifiées en 5.2.2.5 et en 5.3.2.4). La valeur maximale de l'épaisseur de l'isolation peut être déduite à partir des valeurs spécifiées pour D , S et C . Sauf spécification contraire, les conducteurs doivent être espacés de manière sensiblement égale. Les Figures 1, 2 et 3 suivantes, ainsi que les Figures A.1, A.2, A.3 et A.4 précisent à quelle partie les spécifications de D , C et S s'appliquent. L'épaisseur de l'isolation apparaît toujours entre parenthèses dans ces figures parce qu'elle n'est pas indiquée par une valeur numérique.

4.5.2 Section transversale du câble et du couple thermoélectriques simplex

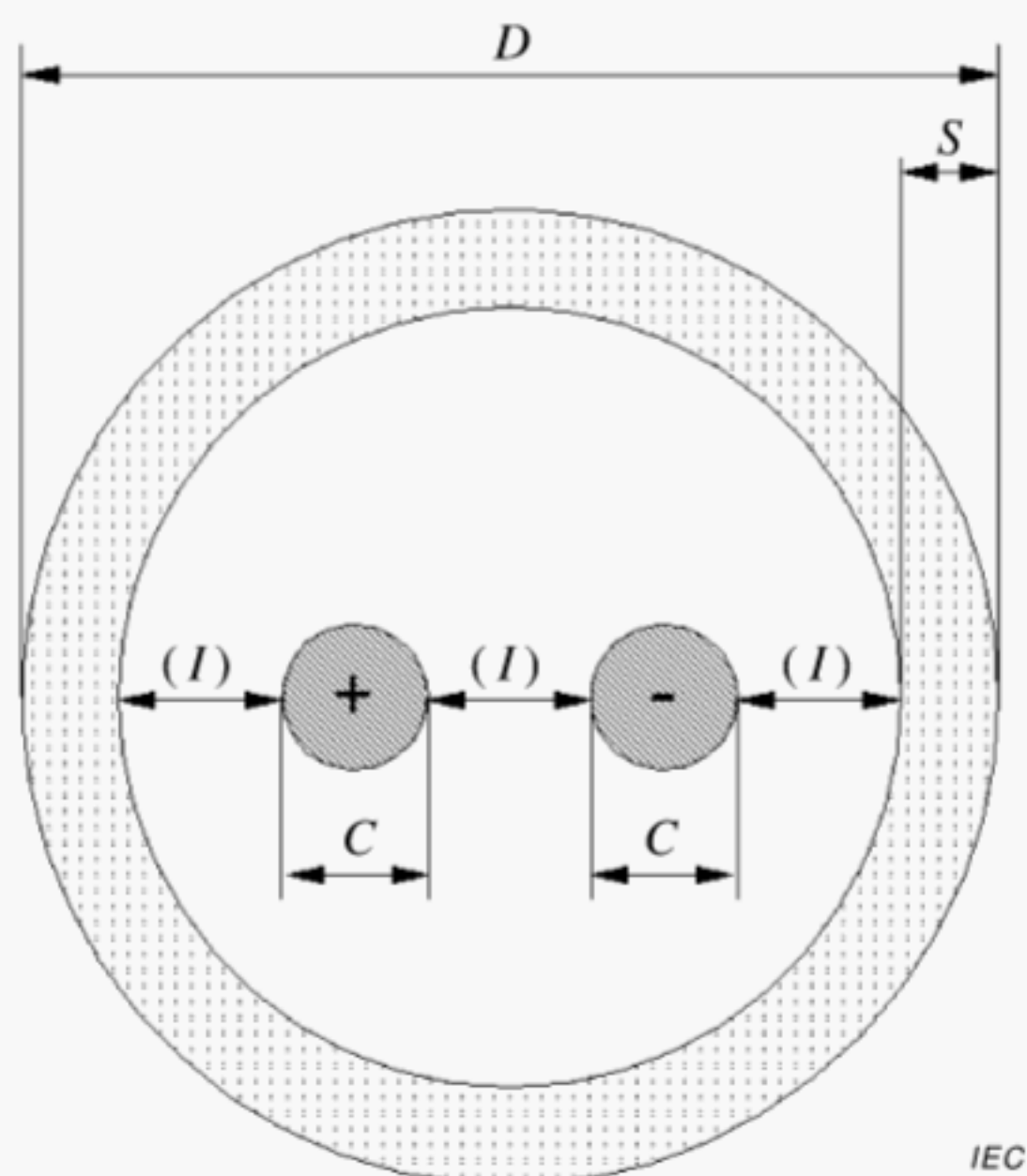


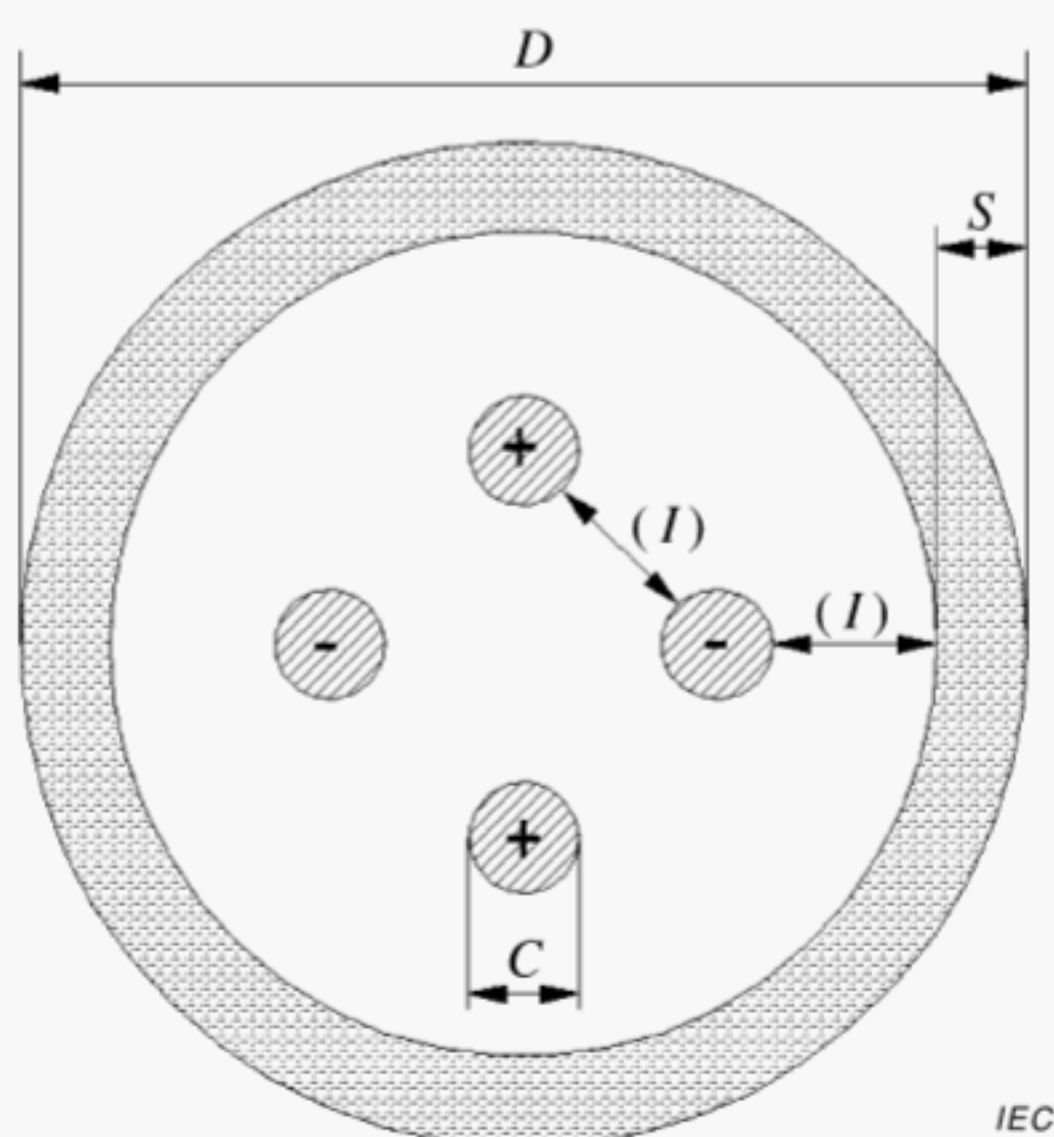
Figure 1 – Section transversale du câble et du couple thermoélectriques simplex

**Tableau 1 – Spécifications dimensionnelles
du câble et du couple thermoélectriques simplex**

Diamètre extérieur D et tolérance correspondante	Epaisseur minimale de paroi de la gaine S	Diamètre minimal du conducteur C
mm	mm	mm
$0,5 \pm 0,025$	0,05	0,08
$1,0 \pm 0,025$	0,10	0,15
$1,5 \pm 0,025$	0,15	0,23
$2,0 \pm 0,025$	0,20	0,30
$3,0 \pm 0,030$	0,30	0,45
$3,2 \pm 0,032$	0,32	0,48
$4,0 \pm 0,040$	0,40	0,60
$4,5 \pm 0,045$	0,45	0,68
$4,8 \pm 0,048$	0,48	0,72
$6,0 \pm 0,060$	0,60	0,90
$6,4 \pm 0,064$	0,64	0,96
$8,0 \pm 0,080$	0,80	1,20
$9,5 \pm 0,095$	0,95	1,43
$10,8 \pm 0,108$	1,08	1,62

Les dimensions ne figurant pas dans le Tableau 1 sont acceptables, sous réserve que l'épaisseur de paroi de la gaine ne soit pas inférieure à 10 % du diamètre du câble thermoélectrique (D) et que le diamètre du conducteur (C) ne soit pas inférieur à 15 % de D . La tolérance relative à D doit être la plus grande des valeurs suivantes: 0,025 mm ou $0,01 \cdot D$.

4.5.3 Section transversale du câble et du couple thermoélectriques duplex



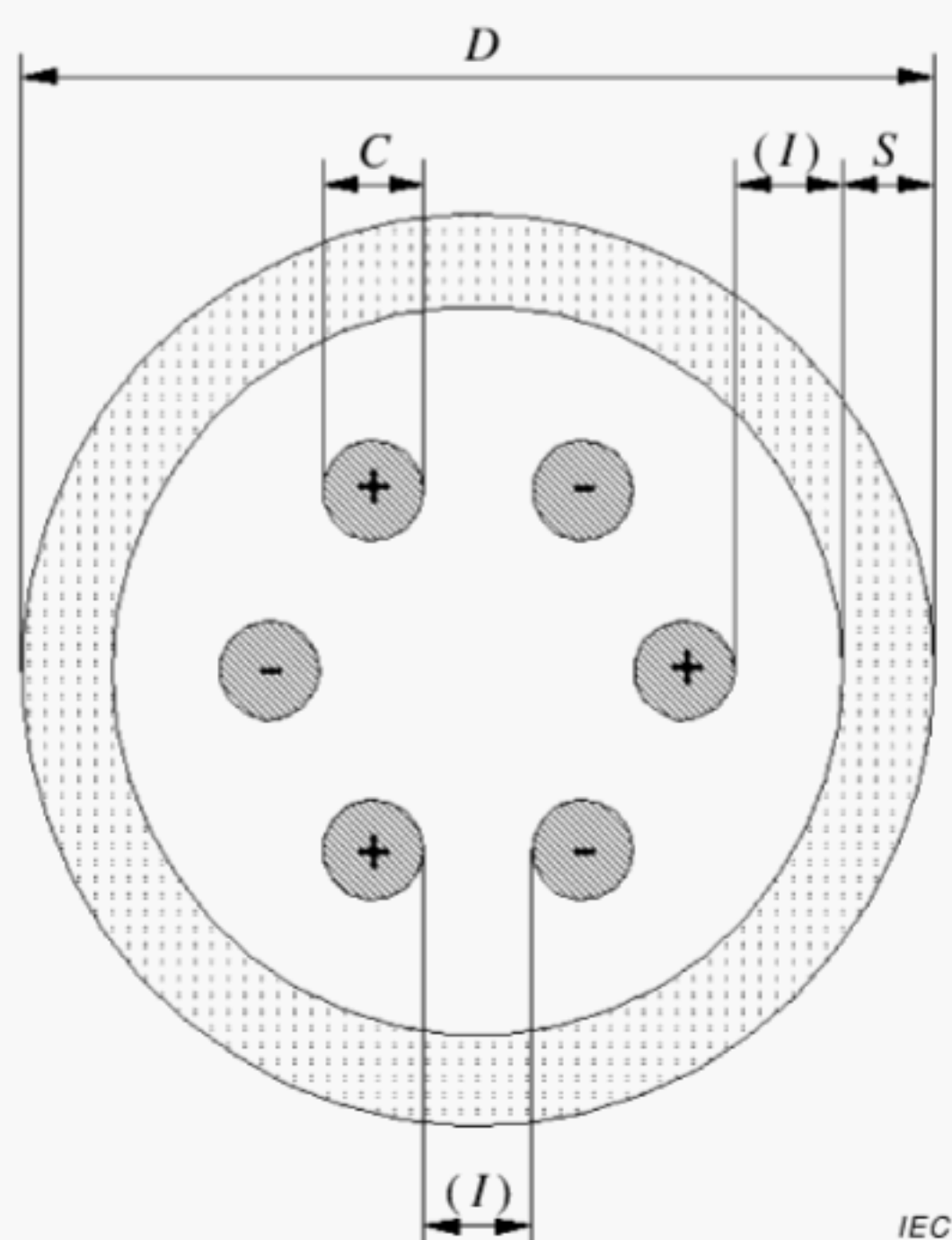
**Figure 2 – Section transversale du câble
et du couple thermoélectriques duplex**

**Tableau 2 – Spécifications dimensionnelles
du câble et du couple thermoélectriques duplex**

Diamètre extérieur D et tolérance correspondante mm	Épaisseur minimale de paroi de la gaine S mm	Diamètre minimal du conducteur C mm
$1,5 \pm 0,025$	0,14	0,17
$2,0 \pm 0,025$	0,18	0,22
$3,0 \pm 0,030$	0,27	0,33
$3,2 \pm 0,032$	0,29	0,35
$4,0 \pm 0,040$	0,36	0,44
$4,5 \pm 0,045$	0,41	0,50
$4,8 \pm 0,048$	0,43	0,53
$6,0 \pm 0,060$	0,54	0,66
$6,4 \pm 0,064$	0,58	0,70
$8,0 \pm 0,080$	0,72	0,88
$9,5 \pm 0,095$	0,86	1,05
$10,8 \pm 0,108$	0,97	1,19

Les dimensions ne figurant pas dans le Tableau 2 sont acceptables, sous réserve que l'épaisseur de paroi de la gaine ne soit pas inférieure à 9 % du diamètre du câble thermoélectrique (D) et que le diamètre du conducteur (C) ne soit pas inférieur à 11 % de D . La tolérance relative à D doit être la plus grande des valeurs suivantes: 0,025 mm ou $0,01 \cdot D$.

4.5.4 Section transversale du câble et du couple thermoélectriques triplex



IEC

**Figure 3 – Section transversale du câble
et du couple thermoélectriques triplex**

**Tableau 3 – Spécifications dimensionnelles
du câble et du couple thermoélectriques triplex**

Diamètre extérieur D et tolérance correspondante mm	Epaisseur minimale de paroi de la gaine S mm	Diamètre minimal du conducteur C mm
3,0 ± 0,030	0,24	0,27
3,2 ± 0,032	0,26	0,29
4,0 ± 0,040	0,32	0,36
4,5 ± 0,045	0,36	0,41
4,8 ± 0,048	0,38	0,43
6,0 ± 0,060	0,48	0,54
6,4 ± 0,064	0,51	0,58
8,0 ± 0,080	0,64	0,72
9,5 ± 0,095	0,76	0,86
10,8 ± 0,108	0,86	0,97

Les dimensions ne figurant pas dans le Tableau 3 sont acceptables, sous réserve que l'épaisseur de paroi de la gaine ne soit pas inférieure à 8 % du diamètre du câble thermoélectrique (D) et que le diamètre du conducteur (C) ne soit pas inférieur à 9 % de D . La tolérance relative à D doit être 0,01 D .

5 Exigences et essais de vérification

5.1 Généralités

Les essais sont divisés en trois catégories: les essais de type, les essais individuels de série et les essais facultatifs. Les essais de type et les essais individuels de série sont obligatoires. Par conséquent, les fournisseurs doivent conserver les enregistrements des résultats d'essai qui doivent être soumis aux utilisateurs s'ils en font la demande. Sauf demande expresse, les essais facultatifs ne sont pas exigés. Les détails relatifs aux essais facultatifs doivent être déterminés après accord entre le fournisseur et l'utilisateur.

Certains essais individuels de série peuvent être remplacés par des essais par échantillonnage, sous réserve de mettre en place des procédures de contrôle techniquement établies pour démontrer que les essais par échantillonnage statistique suffisent. Dans ce cas, le fournisseur doit mettre la documentation du processus statistique mis en œuvre à la disposition de l'utilisateur s'il en fait la demande.

Tableau 4 – Essais de câbles et couples thermoélectriques MIMS

Type d'essai	Câble MIMS			Couple thermoélectrique MIMS		
	Essai de type	Essai individuel de série	Essai facultatif	Essai de type	Essai individuel de série	Essai facultatif
Dimensions	5.2.1.1					
Diamètre extérieur	5.2.1.2	5.2.1.2				
Finition de surface	5.2.1.3	5.2.1.3				5.3.1.3
Vérification de l'intégrité de la gaine	5.2.1.4	5.2.1.4				
Ductilité de la gaine	5.2.1.5					
Ductilité du conducteur	5.2.1.6					
Identification des matériaux de gainage			5.2.1.7			
Continuité électrique	5.2.2.1	5.2.2.1		5.3.2.1	5.3.2.1	
Résistance électrique du conducteur	5.2.2.2	5.2.2.2				5.3.2.6
Rigidité diélectrique	5.2.2.3	5.2.2.3		5.3.2.3		
Vérification de la relation FEM/température	5.2.2.4	5.2.2.4				5.3.2.7
Résistance d'isolement à température ambiante	5.2.2.5	5.2.2.5		5.3.2.4	5.3.2.4	
Résistance d'isolement à températures élevées			5.2.2.6			5.3.2.5
Diamètre extérieur d'un couple thermoélectrique au niveau de la jonction de mesure				5.3.1.1	5.3.1.1	
Dimensions de la section longitudinale de la jonction de mesure d'un couple thermoélectrique				5.3.1.2		
Intégrité des soudures d'obturation				5.3.1.4		5.3.1.4
Essai d'immersion des soudures à froid (couples thermoélectriques isolés uniquement)				5.3.1.5		
Contrôle radiographique						5.3.1.6
Essai de vibrations						5.3.1.7
Essai de chute						5.3.1.8
Polarité				5.3.2.2	5.3.2.2	
Temps de réponse thermique						5.3.2.8

5.2 Câbles thermoélectriques MIMS: exigences et essais de vérification

5.2.1 Structure et propriétés mécaniques

5.2.1.1 Dimensions de la section transversale

Le diamètre extérieur, l'épaisseur de la gaine, le diamètre du conducteur et l'épaisseur de l'isolation doivent être mesurés optiquement en utilisant le grossissement nécessaire. Les dimensions spécifiées en 4.5 doivent être satisfaites.

5.2.1.2 Diamètre extérieur

Le diamètre extérieur de chaque câble thermoélectrique MIMS doit être mesuré sur 2 plans situés à 90° l'un de l'autre au moyen d'un micromètre à touches plates. Le diamètre extérieur spécifié en 4.5 doit être satisfait.

5.2.1.3 Finition de surface

Les câbles thermoélectriques ne doivent présenter aucun signe visible de défauts, d'indentations et d'inclusions. La finition de surface générale de la gaine livrée doit être supérieure ou égale à la classe de rugosité 8 de l'ISO 1302 (3,2 µm Ra).

5.2.1.4 Vérification de l'intégrité de la gaine

Pour s'assurer que la gaine est exempte de trous, de fissures et d'autres défauts et qu'elle protège correctement le conducteur thermoélectrique contre toute pénétration de gaz et de liquides, l'essai suivant doit être réalisé. Les câbles thermoélectriques doivent être immergés dans de l'eau pendant 5 min (à l'exception des extrémités de câbles thermoélectriques). Une fois les câbles retirés de l'eau, la résistance d'isolement doit être mesurée et doit satisfaire à la spécification donnée en 5.2.2.5. Les variantes de méthodes d'essai et de critères d'acceptation doivent être définies après accord entre le fournisseur et l'utilisateur.

5.2.1.5 Ductilité de la gaine

Un échantillon de longueur de câble thermoélectrique doit être enroulé (3 spires) autour d'un mandrin ayant un diamètre égal à 6 fois le diamètre de l'échantillon. Les extrémités de l'échantillon doivent être obturées pour éviter toute pénétration d'humidité. L'échantillon, à l'exclusion des extrémités obturées du câble thermoélectrique, doit être immergé dans de l'eau. Une fois l'échantillon retiré de l'eau, la résistance d'isolement doit être mesurée. Elle doit satisfaire aux exigences de la spécification données en 5.2.2.5.

5.2.1.6 Ductilité du conducteur

La gaine d'un échantillon de longueur de câble thermoélectrique doit être dénudée de manière à exposer les conducteurs sur une longueur d'au moins 25 mm. Chaque conducteur doit être plié en avant et en arrière autour d'un mandrin dont le diamètre est égal à 4 fois le diamètre minimal du conducteur *C* spécifié en 4.5, sans montrer de signes visibles de fracture.

5.2.1.7 Identification des matériaux de gainage

L'identification des matériaux de gainage doit se faire en procédant à une analyse spectrale quantitative sur un échantillon représentatif prélevé sur la bobine du câble. Les critères d'acceptation doivent être définis après accord entre le fournisseur et l'utilisateur.

Les variantes de méthodes et de critères d'acceptation doivent être définies par accord entre le fournisseur et l'utilisateur.

5.2.2 Caractéristiques et performances électriques

5.2.2.1 Continuité électrique

La continuité électrique de chaque conducteur dans chaque bobine de câble thermoélectrique doit être vérifiée.

5.2.2.2 Résistance électrique d'un conducteur

La résistance de chaque conducteur doit être mesurée, calculée sur une longueur de 1 m et corrigée à 20 °C. Elle doit être inférieure à la résistance maximale spécifiée par le fournisseur.

5.2.2.3 Rigidité diélectrique

Comme indiqué au Tableau 5, une tension d'essai doit être appliquée entre chaque conducteur et la gaine, ainsi qu'entre une paire de conducteurs dans des conditions ambiantes ($20\text{ °C} \pm 15\text{ °C}$ avec une humidité relative maximale de 80 %) pendant 1 min (dans le cas d'une tension alternative, le Tableau 5 fait référence à la valeur de tension crête). Pour les câbles de types duplex et triplex, la même procédure d'essai doit être appliquée entre chaque conducteur et la gaine, ainsi qu'entre chaque paire de conducteurs. Aucun claquage ne doit se produire au cours de cet essai.

Tableau 5 – Tension d'essai de rigidité diélectrique

Diamètre de câble thermoélectrique D mm	Tension d'essai V_{cc}		
	Simplex	Duplex	Triplex
$D \leq 1,6$	100	–	–
$1,6 < D \leq 2,0$	100	100	–
$2,0 < D \leq 3,2$	250	250	100
$3,2 < D$	500	500	500

5.2.2.4 Vérification de la relation FEM/température

La FEM d'un échantillon de chaque longueur de production de câble thermoélectrique doit être mesurée à la température supérieure maximale prévue, ainsi qu'à deux autres températures ou plus, uniformément réparties dans la plage. Il convient que le fournisseur et l'utilisateur s'accordent sur la tolérance de la FEM spécifiée dans l'IEC 60584-1.

5.2.2.5 Résistance d'isolement à température ambiante

La résistance d'isolement entre la gaine et chaque conducteur, ainsi qu'entre les deux conducteurs, dans des conditions ambiantes ($20\text{ °C} \pm 15\text{ °C}$ avec une humidité relative maximale de 80 %), doit être mesurée sur les câbles thermoélectriques. Les deux extrémités de câbles doivent être obturées pour éviter toute pénétration d'humidité. Les valeurs de résistance d'isolement minimale spécifiées au Tableau 6 doivent être atteintes dans la minute qui suit l'application de la tension d'essai. La valeur mesurée de la résistance d'isolement doit être communiquée à l'utilisateur s'il en fait la demande.

Tableau 6 – Résistance d'isolement minimale à température ambiante (câbles MIMS)

Diamètre de câble thermoélectrique D mm	Tension d'essai V_{cc}	Résistance d'isolement minimale $M\Omega \cdot m^a$
$D \leq 1,0$	50 à 100	1 000
$1,0 < D \leq 1,6$	50 à 100	5 000
$1,6 < D$	450 à 550	10 000
^a L'isolation d'un câble thermoélectrique MIMS a une conductivité finie; autrement dit, la résistance d'isolement diminue à mesure que la longueur du câble thermoélectrique augmente. La conductance d'un câble thermoélectrique spécifique s'exprime donc en $S \cdot m^{-1}$ (équivalent à $\Omega^{-1} \cdot m^{-1}$), et la résistance d'isolement minimale spécifiée s'exprime en $\Omega \cdot m$, $k\Omega \cdot m$ ou $M\Omega \cdot m$ pour les câbles thermoélectriques.		

5.2.2.6 Résistance d'isolement à températures élevées

La résistance d'isolement d'un échantillon d'une longueur de production de câble thermoélectrique doit être mesurée à températures élevées. Si nécessaire, l'effet de la FEM doit

être annulé en calculant la moyenne des deux mesures avec une autre polarité. L'extrémité ou les extrémités du câble thermoélectrique non immergées dans le four doivent être obturées. La longueur immergée à chaque température d'essai ne doit pas être inférieure à 0,3 m, et l'uniformité des températures doit être assurée dans les limites des valeurs de température d'essai données. Les portions de câble thermoélectrique qui ne sont pas exposées à des températures élevées doivent être maintenues à $20\text{ °C} \pm 15\text{ °C}$. Les valeurs de résistance d'isolement minimale spécifiées au Tableau 7 doivent être atteintes dans la minute qui suit l'application de la tension d'essai. Les critères d'acceptation autres que ceux donnés au Tableau 7 doivent être définis par accord entre le fournisseur et l'utilisateur.

Tableau 7 – Résistance d'isolement à températures élevées (câbles MIMS)

Type de couple thermoélectrique applicable	Température d'essai °C	Résistance d'isolement minimale		
		0,5 < D ≤ 1,6 (tension d'essai égale à 50 Vcc) MΩ·m	1,6 < D ≤ 3,2 (tension d'essai égale à 100 Vcc) MΩ·m	3,2 < D (tension d'essai égale à 100 Vcc) MΩ·m
T, J, E, K, N	300 ± 15	150	300	1 000
J, E, K, N	500 ± 15	7,5	15	30
E, K, N	800 ± 15	0,075	0,15	0,3
K, N	1 000 ± 15	–	0,003	0,006
NOTE D est le diamètre du câble thermoélectrique, exprimé en mm.				

5.3 Couples thermoélectriques MIMS: exigences et essais de vérification

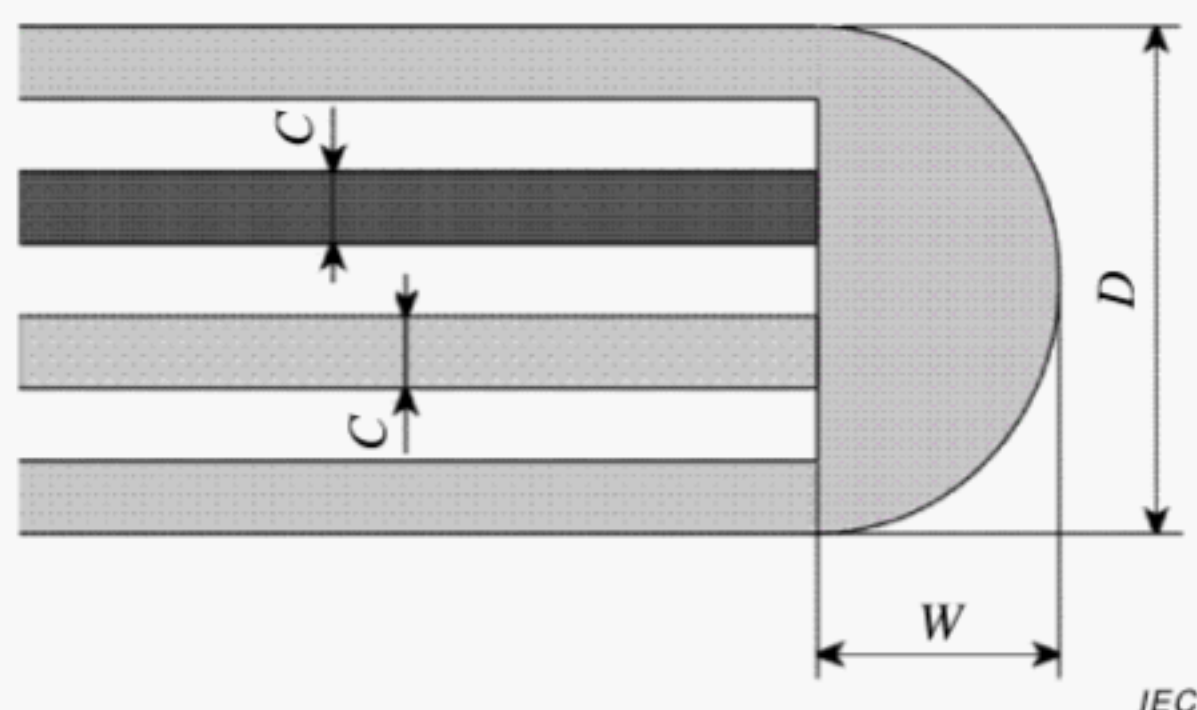
5.3.1 Structure et propriétés mécaniques

5.3.1.1 Diamètre extérieur d'un couple thermoélectrique au niveau de la jonction de mesure

Le diamètre extérieur d'un couple thermoélectrique à jonction isolée et reliée à la masse, au niveau de la jonction de mesure, doit être mesuré sur 2 plans situés à 90° l'un de l'autre au moyen d'un micromètre à touches plates ou d'un calibre, en partant de la partie supérieure jusqu'à une distance égale à 5 fois le diamètre extérieur. La tolérance relative au diamètre extérieur au niveau de la jonction de mesure doit être la plus grande des valeurs suivantes: 0,05 mm ou $0,01 \cdot D$.

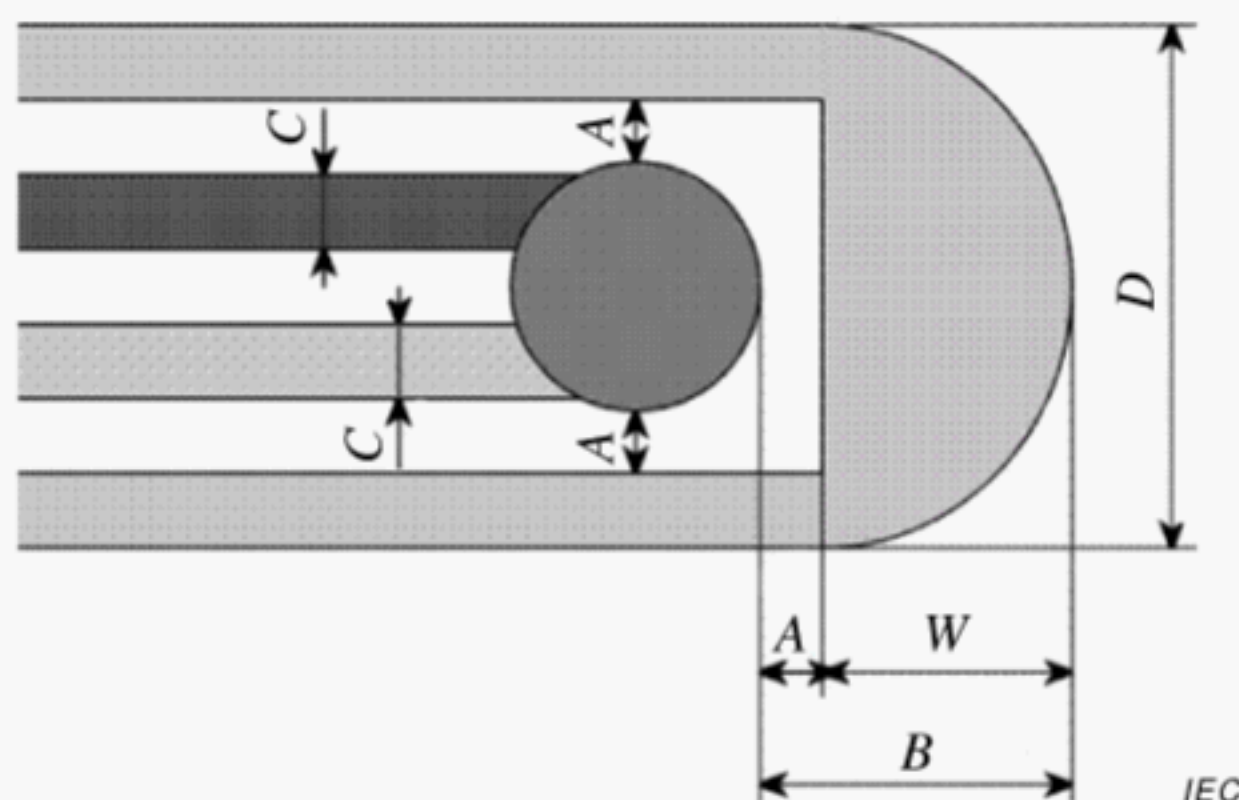
5.3.1.2 Dimensions de la section longitudinale de la jonction de mesure d'un couple thermoélectrique

Les exigences dimensionnelles d'épaisseur de soudure au niveau de la jonction de mesure d'un couple thermoélectrique MIMS doivent correspondre à celles spécifiées à la Figure 4 pour un couple thermoélectrique à jonction de mesure reliée à la masse et à celles spécifiées à la Figure 5 pour un couple thermoélectrique à jonction isolée.



Dimension	Amplitude
W = Epaisseur de la soudure	Min. $0,1 \cdot D$ Max. $0,8 \cdot D$

Figure 4 – Section longitudinale d'une jonction reliée à la masse



Dimension	Amplitude
A = Epaisseur de l'isolation au niveau de la jonction	Min. $0,05 \cdot D$
W = Epaisseur de la soudure	Min. $0,1 \cdot D$ Max. $0,8 \cdot D$
B = Position de la perle de soudure	Min. $0,15 \cdot D$ Max. $1,5 \cdot D$

Figure 5 – Section longitudinale d'une jonction isolée

5.3.1.3 Finition de surface d'un couple thermoélectrique

La surface du couple thermoélectrique fini doit être visuellement propre et sèche. La finition de surface générale doit être supérieure ou égale à la classe de rugosité 8 de l'ISO 1302 ($3,2 \mu\text{m Ra}$). La rugosité doit être déterminée au moyen d'échantillons de comparaison de la rugosité.

5.3.1.4 Intégrité des soudures d'obturation

5.3.1.4.1 Généralités

L'intégrité des soudures d'obturation des couples thermoélectriques à jonction isolée et reliée à la masse doit être vérifiée par l'un des essais spécifiés en 5.3.1.4.2 à 5.3.1.4.4. La méthode d'essai doit être convenue entre le fournisseur et l'utilisateur.

5.3.1.4.2 Essai de trempe dans l'eau (couples thermoélectriques à jonction isolée uniquement)

La jonction de mesure du couple thermoélectrique dont l'extrémité froide est obturée doit être soumise à une température minimale de 300 °C pendant une durée minimale de 5 min; la longueur immergée étant supérieure à 10 fois le diamètre, elle doit ensuite être immédiatement plongée dans de l'eau à température ambiante. La résistance d'isolement doit être mesurée au cours de l'immersion du couple thermoélectrique. La résistance d'isolement doit satisfaire aux exigences données en 5.3.2.4.

NOTE Cet essai peut affecter les caractéristiques de la FEM du couple thermoélectrique à l'essai.

5.3.1.4.3 Essai par mise sous pression de gaz inerte

La jonction de mesure du couple thermoélectrique dont l'extrémité froide est obturée doit être soumise à une pression minimale externe de gaz inerte de 1 MPa pendant environ 60 s ou à une pression de 2,5 MPa pendant 30 s. Après mise sous pression, elle doit être immédiatement immergée dans de l'eau ou de l'alcool. Il ne doit pas y avoir de formation de bulles provenant de la soudure d'obturation.

5.3.1.4.4 Essai à l'azote liquide

La jonction de mesure du couple thermoélectrique dont l'extrémité froide est obturée doit être immergée dans de l'azote liquide sur une longueur d'au moins 3 fois le diamètre du couple thermoélectrique jusqu'à stabilisation de la température; elle doit ensuite être immédiatement immergée dans de l'eau ou de l'alcool. Il ne doit pas y avoir de formation de bulles provenant de la soudure d'obturation.

5.3.1.4.5 Essai de ressuage

Après accord entre le fournisseur et l'utilisateur, l'essai de ressuage peut constituer une variante de méthode d'essai pour vérifier l'intégrité des soudures d'obturation. Cet essai est un examen visuel de la surface de la soudure. L'examineur applique d'abord le pénétrant liquide spécial à la surface de la soudure et essuie tout excédent. Les défauts tels qu'une porosité de la soudure ou des fissures présentes à la surface du matériau peuvent être détectés visuellement.

5.3.1.5 Essai d'immersion des soudures à froid (couples thermoélectriques à jonction isolée uniquement)

Les terminaisons permanentes des soudures à froid doivent être immergées dans de l'eau pendant 1 h minimum. Une fois les terminaisons retirées de l'eau, la surface de la soudure doit être séchée manuellement sans recourir à un chauffage et la résistance d'isolement doit être immédiatement mesurée. Le résultat doit satisfaire aux critères spécifiés en 5.3.2.4.

5.3.1.6 Contrôle radiographique

Des radiographies de la zone de la jonction de mesure doivent être effectuées sur deux plans perpendiculaires l'un à l'autre pour confirmer les exigences dimensionnelles spécifiées en 5.3.1.2.

5.3.1.7 Essai de vibrations

Des essais de vibrations peuvent être réalisés pour les couples thermoélectriques utilisés dans des environnements spécifiques soumis à d'éventuelles vibrations. Le couple thermoélectrique doit être monté en position d'installation. Les méthodes d'essai doivent satisfaire à l'IEC 60068-2-6. Les paramètres, tels que la plage de fréquences et l'accélération forcée des vibrations, doivent être déterminés par accord entre le fournisseur et l'utilisateur. Le couple thermoélectrique à l'essai doit satisfaire à toutes les autres exigences applicables spécifiées en 5.3 de la présente norme.

5.3.1.8 Essai de chute

Cet essai est destiné à révéler les éventuelles faiblesses de construction. L'axe longitudinal du couple thermoélectrique doit être maintenu horizontalement; le couple thermoélectrique est ensuite lâché 10 fois d'une hauteur de 250 mm sur une plaque d'acier de 6 mm d'épaisseur, posée sur un plancher rigide. Le couple thermoélectrique doit ensuite être vérifié afin de déceler d'éventuels dommages mécaniques. Le couple thermoélectrique à l'essai doit satisfaire aux autres exigences applicables spécifiées en 5.3 de la présente norme.

5.3.2 Caractéristiques et performances électriques

5.3.2.1 Continuité électrique d'une paire de conducteurs

La continuité électrique de chaque paire de conducteurs doit être vérifiée. Pour un couple thermoélectrique à jonction reliée à la masse, la continuité électrique entre chaque paire de conducteurs et la gaine doit être vérifiée. Cet essai doit être réalisé de façon à garantir une continuité stable en tenant compte de tous les types de connexions électriques incorporées, comme les fils conducteurs, un connecteur et des bornes électriques.

5.3.2.2 Polarité

L'identification des polarités doit être vérifiée au niveau d'une ou de plusieurs paires de conducteurs thermoélectriques, y compris tout type de connexion électrique incorporée au couple thermoélectrique.

5.3.2.3 Rigidité diélectrique (couples thermoélectriques à jonction isolée uniquement)

Comme indiqué au Tableau 5, une tension d'essai doit être appliquée entre les conducteurs et la gaine du couple thermoélectrique dans des conditions ambiantes ($20\text{ °C} \pm 15\text{ °C}$ avec une humidité relative maximale de 80 %) pendant 1 min (dans le cas d'une tension alternative, le Tableau 5 fait référence à la valeur de tension crête). Pour les couples thermoélectriques duplex et triplex, la même procédure d'essai doit être appliquée entre chaque paire de conducteurs et la gaine, ainsi qu'entre deux paires de couples thermoélectriques. Aucun claquage ne doit se produire au cours de cet essai.

5.3.2.4 Résistance d'isolement à température ambiante (couples thermoélectriques à jonction isolée uniquement)

La résistance d'isolement dans des conditions ambiantes ($20\text{ °C} \pm 15\text{ °C}$ avec une humidité relative maximale de 80 %) doit être mesurée sur le couple thermoélectrique. Les valeurs de résistance d'isolement minimale spécifiées au Tableau 8 doivent être atteintes dans la minute qui suit l'application de la tension d'essai. Pour les couples thermoélectriques duplex et triplex, la même procédure d'essai doit être appliquée entre chaque paire de conducteurs et la gaine, ainsi qu'entre deux paires de couples thermoélectriques. La valeur mesurée de la résistance d'isolement doit être communiquée à l'utilisateur s'il en fait la demande.

Tableau 8 – Résistance d'isolement minimale à température ambiante

Diamètre du couple thermoélectrique D (mm) et tension d'essai (V_{cc})	Résistance d'isolement minimale $M\Omega$
$0,5 < D \leq 1,6$; 100 V_{cc}	20
$1,6 < D$; 500 V_{cc}	1 000
Pour les couples thermoélectriques d'une longueur supérieure à 10 m, la valeur de la résistance d'isolement minimale doit être déterminée par accord entre le fournisseur et l'utilisateur.	

5.3.2.5 Résistance d'isolement à températures élevées (couples thermoélectriques à jonction isolée uniquement)

La résistance d'isolement doit être mesurée sur un couple thermoélectrique dans les conditions suivantes. Le couple thermoélectrique doit être immergé de façon à être exposé à la température spécifiée sur une longueur d'au moins 0,1 m. Si nécessaire, l'effet de la FEM doit être annulé en calculant la moyenne des deux mesures avec une autre polarité. La résistance d'isolement minimale spécifiée au Tableau 9 doit être atteinte dans la minute qui suit l'application de la tension d'essai. Les critères d'acceptation autres que ceux donnés au Tableau 9 doivent être définis par accord entre le fournisseur et l'utilisateur.

**Tableau 9 – Résistance d'isolement à températures élevées
(couples thermoélectriques MIMS)**

Type de couple thermoélectrique applicable	Température d'essai °C	Résistance d'isolement minimale		
		0,5 ≤ <i>D</i> ≤ 1,6 (tension d'essai égale à 50 Vcc) MΩ	1,6 < <i>D</i> ≤ 3,2 (tension d'essai égale à 100 Vcc) MΩ	3,2 < <i>D</i> (tension d'essai égale à 100 Vcc) MΩ
T, J, E, K, N	300 ± 15	250	500	1 000
J, E, K, N	500 ± 15	25	50	100
E, K, N	800 ± 15	0,25	0,5	1
K, N	1 000 ± 15	–	0,01	0,02

NOTE *D* est le diamètre du couple thermoélectrique, exprimé en mm. La longueur de l'échantillon d'essai immergé à températures élevées est de 0,1 m, et les valeurs données dans le tableau correspondent à la résistance d'isolement de cette unité d'essai.

5.3.2.6 Résistance électrique d'une paire de conducteurs

La résistance de boucle des conducteurs doit être mesurée pour chaque paire de conducteurs. La résistance doit être inférieure à la résistance de boucle maximale spécifiée par le fournisseur.

5.3.2.7 Vérification de la relation FEM/température

Un couple thermoélectrique doit être étalonné aux températures convenues entre le fournisseur et l'utilisateur. Il convient que le fournisseur et l'utilisateur s'accordent sur la tolérance de la FEM spécifiée dans l'IEC 60584-1.

5.3.2.8 Temps de réponse thermique

En partant d'une température stable, le couple thermoélectrique doit être rapidement introduit dans un fluide en écoulement dont la température varie d'au moins 10 °C de la température de départ. Le temps de réponse thermique doit être enregistré. Il est habituellement égal à $\tau_{0,5}$, $\tau_{0,9}$ ou $\tau_{0,1}$. La vitesse du fluide doit être supérieure à 0,2 m/s pour l'eau et à $(3 \pm 0,3)$ m/s pour l'air. Les valeurs de vitesse doivent être enregistrées.

6 Conditions de livraison des câbles thermoélectriques

Les extrémités du câble thermoélectrique doivent être obturées avant expédition afin de prévenir toute pénétration d'humidité. Il est admis d'appliquer une soudure étanche, de la résine époxy ou des manchons thermorétractables.

7 Conditionnement

Avant conditionnement, le câble thermoélectrique et le couple thermoélectrique ne doivent présenter aucune trace de graisse, d'huile, de saleté, de tartre ou autre matière étrangère. Les câbles et couples thermoélectriques doivent être transportés en position verticale ou en bobines. Lorsqu'ils sont transportés en position verticale, ils doivent être placés dans des boîtes ou soutenus pour éviter toute flexion. Les câbles enroulés en bobines doivent être fixés ensemble pour éviter toute abrasion.

8 Marquage

Chaque bobine de câble thermoélectrique et/ou chaque ensemble de couples thermoélectriques doivent être clairement étiquetés ou comporter un marquage comportant au minimum le nom du fournisseur ainsi que les informations suivantes, qui peuvent se présenter sous la forme d'un code d'identification:

- le type de couple thermoélectrique;
- la classe de tolérance;
- le diamètre nominal d'un câble thermoélectrique ou d'un couple thermoélectrique;
- le nombre de paires de conducteurs (simplex, duplex, triplex);
- le matériau de gainage;
- la longueur;
- le numéro d'identification pour la traçabilité (câbles thermoélectriques uniquement).

9 Certification

Il convient que le fournisseur fournisse, sur demande, les données de certification indiquant:

- les températures nominales d'étalonnage, en °C;
- la classe de tolérance et les écarts par rapport à l'IEC 60584-1 concernant la FEM ou la température;
- le matériau des conducteurs et le numéro de lot;
- le matériau de gainage et le numéro de lot;
- le matériau d'isolation et le numéro de lot.

Annexe A (informative)

Variantes de configurations de conducteurs adjacents

A.1 Généralités

Les Figures A.1, A.2, A.3 et A.4 ci-après représentent des variantes de configurations de conducteurs adjacents (en plus de celles représentées aux Figures 2 et 3) qui sont acceptables après accord entre le fournisseur et l'utilisateur. Ces produits sont conformes à la présente norme, sous réserve que les autres propriétés satisfassent aux exigences de la présente norme.

A.2 Câble et couple thermoélectriques duplex

La Figure A.1 représente une variante de configuration de conducteurs à celle de la Figure 2.

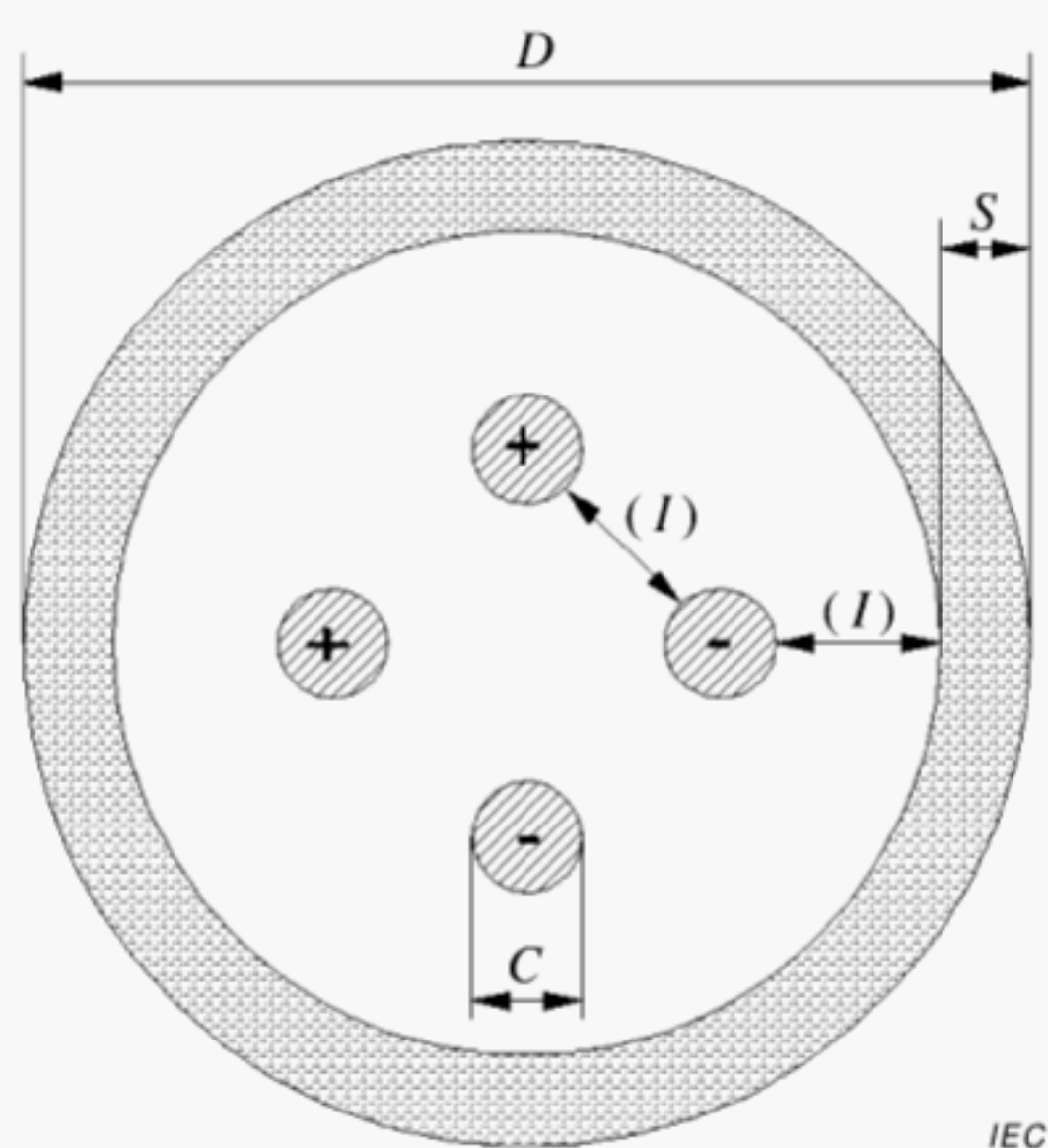


Figure A.1 – Variante de configuration de conducteurs adjacents pour le type duplex

A.3 Câble et couple thermoélectriques triplex

Les Figures A.2, A.3 et A.4 représentent des variantes de configurations de conducteurs à celle de la Figure 3.

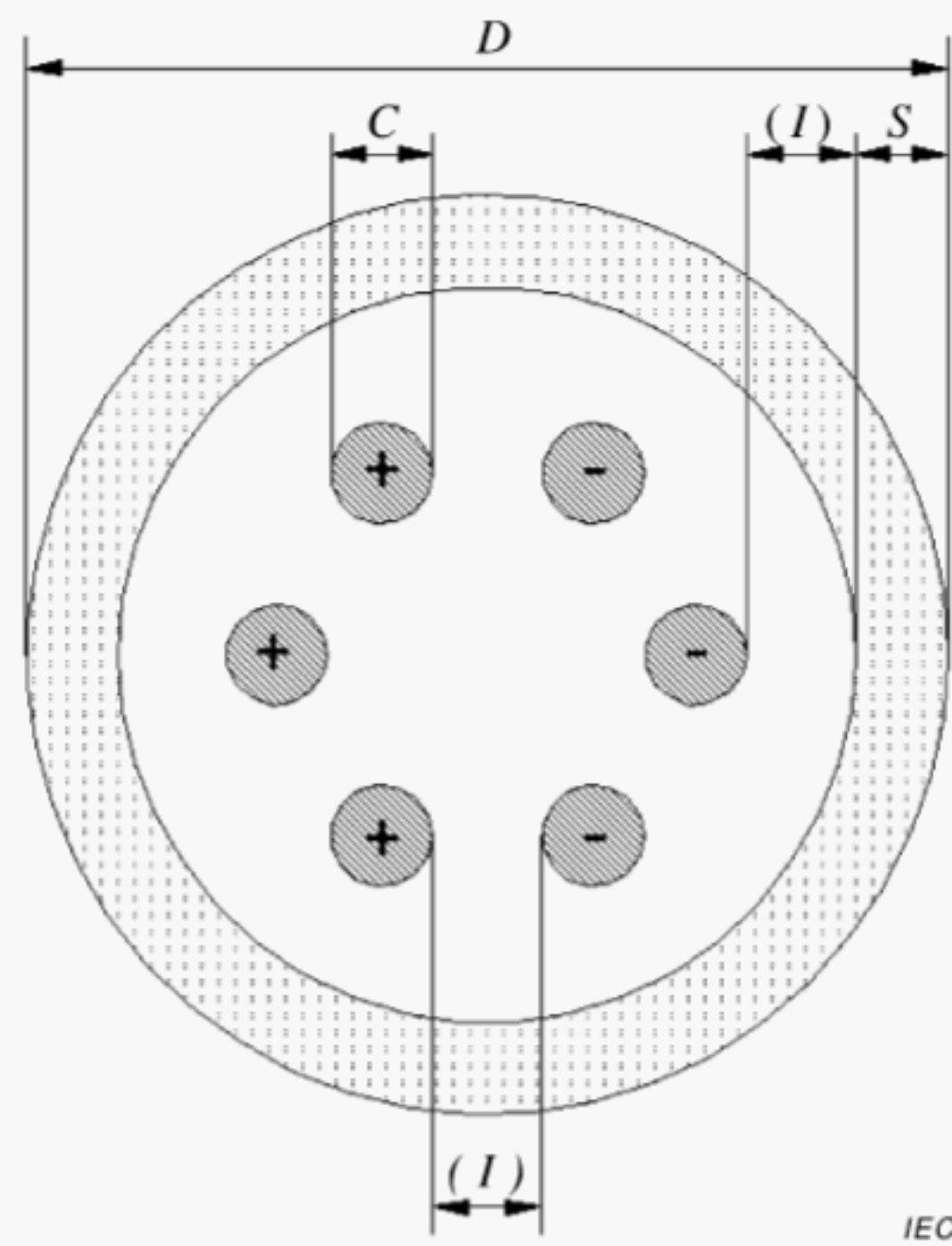


Figure A.2 – Variante de configuration de conducteurs adjacents pour le type triplex (1)

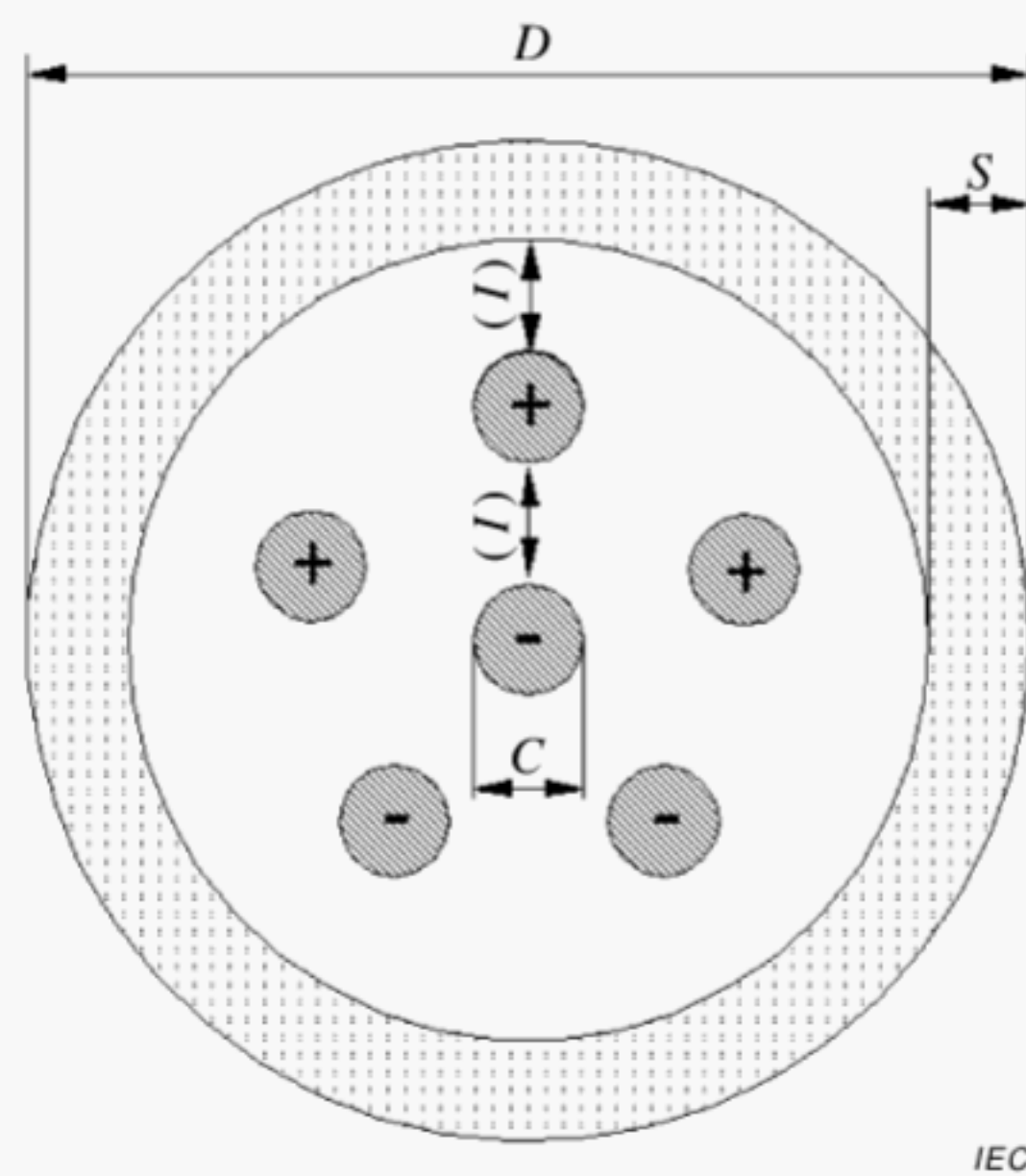


Figure A.3 – Variante de configuration de conducteurs adjacents pour le type triplex (2)

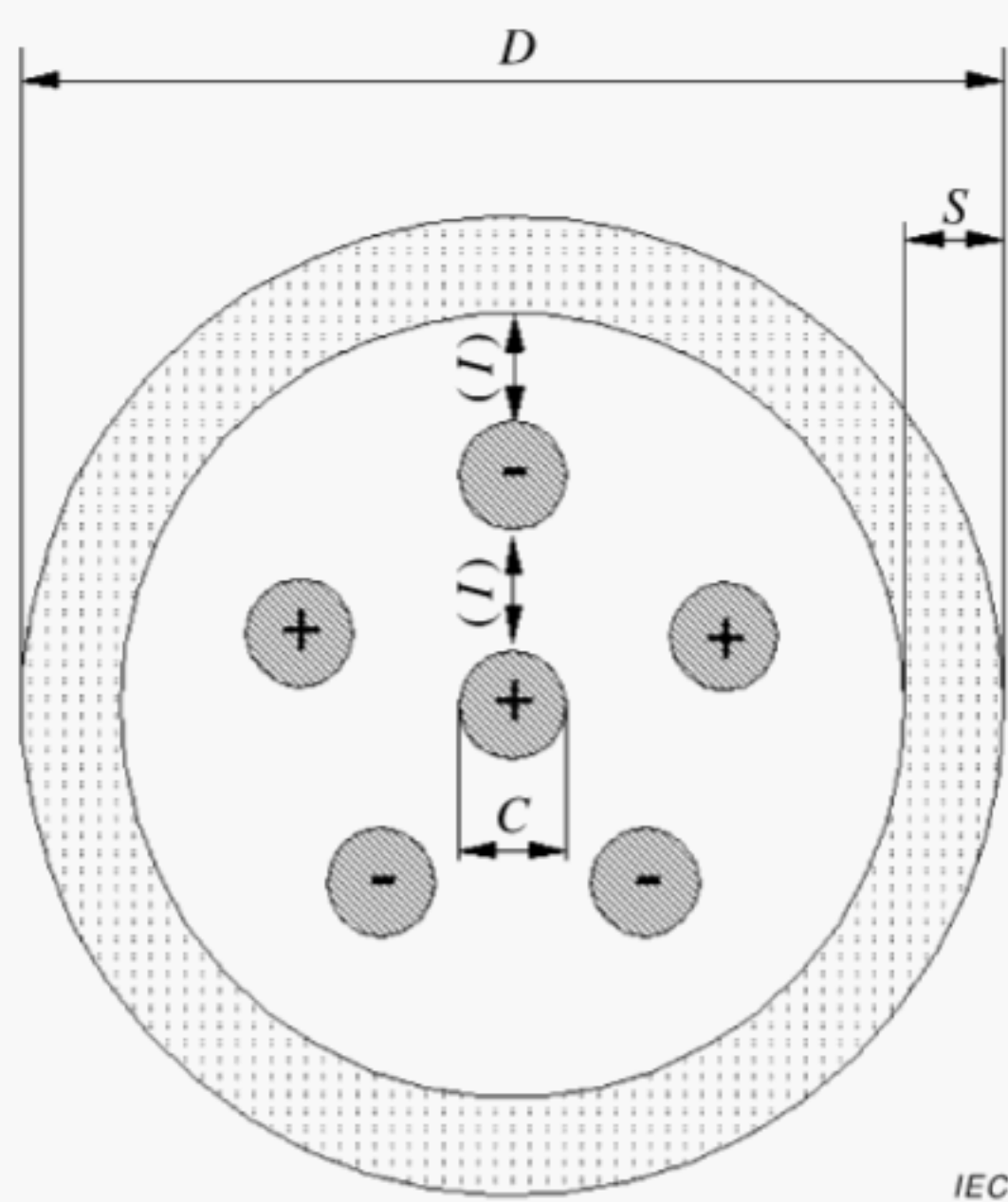


Figure A.4 – Variante de configuration de conducteurs adjacents pour le type triplex (3)

Annexe B (informative)

Composition chimique du matériau d'isolation minérale

Les Tableaux B.1 et B.2 donnent la composition chimique type du matériau d'isolation pour les câbles et couples thermoélectriques MIMS.

**Tableau B.1 – Exemples de valeurs recommandées de magnésie (MgO) –
Composition chimique en pourcentage de la masse**

Degré de pureté (pureté minimale de la magnésie)	Teneur maximale en impuretés %							
	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	B	Cd	S	C
Pureté normale (96 %)	3,50	1,50	4,00	0,15	0,005	0,001	0,002 5	0,020
Pureté moyenne (97,0 %)	1,20	0,80	1,00	0,10	0,005	0,001	0,002 5	0,020
Haute pureté (99,4 %)	0,13	0,35	0,15	0,10	0,0025	0,001	0,002 5	0,020

**Tableau B.2 – Exemples de valeurs recommandées d'alumine (Al₂O₃) –
Composition chimique en pourcentage de la masse**

Degré de pureté (pureté minimale de l'alumine)	Teneur maximale en impuretés %									
	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	ZrO ₂	B	Cd	Na ₂ O	S	C
Haute pureté (99,65 %)	0,10	0,08	0,08	0,10	0,080	0,001	0,001	0,06	0,005	0,01

Annexe C (informative)

Valeurs indicatives de la limite supérieure de température

Le Tableau C.1 suivant donne des recommandations concernant les températures maximales (symbole T_{\max}) auxquelles il convient d'utiliser les câbles et couples thermoélectriques, de manière continue dans de l'air non circulant, en fonction du type de couple thermoélectrique, ainsi que du matériau de gainage et du diamètre de gaine utilisés. Toute utilisation de couples thermoélectriques dans des atmosphères corrosives ou réactives entraînera une réduction des températures maximales recommandées. Dans ce tableau, la valeur D représente le diamètre extérieur d'un couple thermoélectrique, exprimé en mm. Le matériau de gainage est spécifié par sa désignation UNS (Unified Numbering System). De nombreux autres types de matériaux de gainage sont disponibles pour les câbles MIMS et peuvent être convenus entre le fournisseur et l'utilisateur.

**Tableau C.1 – Valeurs indicatives de limites de température
de combinaisons de gaines et conducteurs de couples thermoélectriques MIMS**

Matériau	D mm	T_{\max} pour chaque type de couple thermoélectrique °C					Notes relatives aux caractéristiques du matériau de gainage
		N	K	J	E	T	
S30400 S30403 S31600 S31603 S32100 S34700	8	800	800	720	800	370	Le S30400 est un acier inoxydable austénitique à 18/8 % de chrome/nickel qui est utilisable dans l'air à environ 800 °C, sans oxydation ou dégradation de la tenue excessive. Il ne présentera pas de fragilisation à des températures négatives. Il est normalement amagnétique, mais peut devenir légèrement magnétique en cas d'écrouissage intensif. Cet acier a une teneur maximale en carbone de 0,08 % et est donc sensible à la corrosion intergranulaire des soudures après un échauffement prolongé à 650 °C, comme cela pourrait avoir lieu dans la zone thermiquement affectée d'une soudure. Du fait de sa sensibilité à la corrosion sous contrainte, son utilisation n'est pas recommandée en présence d'eau de mer.
	6	800	800	720	800	370	
	4,5	800	800	620	730	370	
	3	800	800	520	650	315	Le S30403 est une variante ayant une teneur maximale en carbone de 0,03 % et n'est donc pas sensible à la corrosion intergranulaire des soudures avec une telle composition. Il est très répandu. D'autre part, il a des propriétés identiques à celles du type S30400.
	2	800	800	440	510	260	
	1,5	800	800	440	510	260	Le S31603/S31600 est similaire au matériau S30400, mais comporte 2,5 % de molybdène, ce qui améliore considérablement sa résistance à la corrosion par l'acide sulfurique. La résistance à la corrosion des aciers inoxydables tient essentiellement à l'existence d'une pellicule superficielle d'oxyde de chrome, mais la présence de chlorures (solutions salines) peut détruire cette pellicule et donner lieu à une corrosion rapide. L'ajout de molybdène rend la pellicule superficielle plus résistante aux chlorures et plus efficace contre les fissures dues à la corrosion sous contrainte. Le type S31603 est le plus couramment utilisé pour les
	1	700	700	260	300	260	

Matériau	D mm	T _{max} pour chaque type de couple thermoélectrique °C					Notes relatives aux caractéristiques du matériau de gainage
		N	K	J	E	T	
	0,5	700	700	260	300	260	<p>applications où la résistance à l'eau salée est exigée. Il résiste à l'oxydation jusqu'à 870 °C.</p> <p>Le S32100 possède la même composition de base que le S30400, mais a une teneur en titane (utilisé comme stabilisateur) égale à 5 fois la teneur en carbone. Le titane a une grande affinité avec le carbone et se combine donc préférentiellement avec lui, ce qui évite la formation de carbure de chrome qui est à l'origine de la corrosion intergranulaire des soudures. Le type S34700 a des propriétés similaires à celles du S30400, mais il est de moins en moins utilisé du fait de l'utilisation répandue du S30403.</p>
S31000 S31003	8	1 050	1 050	720	820	370	<p>Le S31000 est un acier inoxydable austénitique à 25/20 % de chrome/nickel. Il conserve sa tenue et sa résistance à l'oxydation jusqu'à 1 050 °C tout en étant similaire au S30400. Il s'agit d'un matériau réfractaire et n'est pas spécifié pour un usage en conditions corrosives humides. Du fait de sa haute teneur en chrome, il n'est pas sensible à la corrosion intergranulaire des soudures.</p>
	6	1 050	1 050	720	820	370	
	4,5	1 050	1 050	620	730	370	
	3	1 050	1 050	520	650	315	
	2	920	920	440	510	260	
	1,5	920	920	440	510	260	
	1	700	700	260	300	260	
	0,5	700	700	260	300	260	
S44600	8	1 100	1 100	720	820	370	<p>Le S44600 est un acier inoxydable ferritique ayant une teneur en chrome de 30 % et ne comportant pas de nickel. Il est magnétique et se fragilise à basses températures. Il peut être utilisé dans des conditions d'oxydation jusqu'à 1 100 °C, mais a une résistance supérieure aux atmosphères sulfureuses jusqu'à 900 °C. Il est beaucoup plus difficile à fabriquer que les types austénitiques.</p>
	6	1 100	1 100	720	820	370	
	4,5	1 100	1 100	620	730	370	
	3	1 070	1 070	520	650	315	
	2	920	920	440	510	260	
	1,5	920	920	440	510	260	
	1	700	700	260	300	260	
	0,5	700	700	260	300	260	
UNS 6600	8	1 150	1 150	720	820	370	<p>L'alliage à haute teneur en nickel le plus couramment utilisé dans les matériaux de gainage est l'Alliage 600; il a une teneur minimale en nickel de 72 %, en chrome de 16 % et en alliage de fer de 7 %, avec une résistance à l'oxydation et une tenue très bonnes à des températures comprises entre 1 100 °C et 1 150 °C. Du fait de sa corrosion intergranulaire excessive, il ne convient pas aux atmosphères sulfureuses réductrices au-dessus de 550 °C. Il est quasiment insensible aux fissures dues à la corrosion sous contrainte induite par les chlorures.</p> <p>L'autre type d'alliage spécial à haute teneur en nickel est également disponible sur le marché. Il a été développé pour le secteur des couples thermoélectriques, du fait de sa résistance à l'oxydation et de sa tenue très bonnes à des températures allant jusqu'à 1 250 °C. La limite de température est de 500 °C en atmosphère sulfureuse réductrice et de 800 °C en atmosphère sulfureuse oxydante.</p>
	6	1 150	1 150	720	820	370	
	4,5	1 150	1 150	620	730	370	
	3	1 070	1 070	520	650	315	
	2	920	920	440	510	260	
	1,5	920	920	440	510	260	
	1	700	700	260	300	260	
	0,5	700	700	260	300	260	

Les fabricants ne produisent pas toutes les combinaisons de matériaux de gainage et de matériaux de conducteurs. Les températures recommandées sont déterminées par la résistance du matériau de gainage et/ou la stabilité du couple thermoélectrique. Ces valeurs étant fournies à titre indicatif, il convient de ne pas les considérer comme un gage de performance. En pratique, il existera une très forte variabilité selon les conditions, la durée totale d'exposition et en particulier aux températures élevées. Il convient que l'utilisateur discute avec le fournisseur de ces aspects, ainsi que d'autres considérations liées aux performances.

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch