

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Winding wires – Test methods –
Part 5: Electrical properties**

**Fils de bobinage – Méthodes d'essai –
Partie 5: Propriétés électriques**





THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2011 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: 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.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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 CEI

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

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

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

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00



IEC 60851-5

Edition 4.1 2011-08

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Winding wires – Test methods –
Part 5: Electrical properties**

**Fils de bobinage – Méthodes d'essai –
Partie 5: Propriétés électriques**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

CL

ICS 29.060.10

ISBN 978-2-88912-611-8

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Test 5: Electrical resistance.....	7
4 Test 13: Breakdown voltage	8
4.1 Principle.....	8
4.2 Equipment.....	8
4.3 Enamelled round wire with a nominal conductor diameter up to and including 0,100 mm	9
4.3.1 Grade 1 to grade 3 with a nominal diameter up to and including 0,100 mm.....	9
4.3.2 Grade of FIW 3 to FIW 9 with a nominal conductor diameter up to and including 1,600 mm.....	10
4.4 Enamelled round wire with a nominal conductor diameter over 0,100 mm up to and including 2,500 mm, grade 1 to grade 3	11
4.4.1 Test at room temperature	11
4.4.2 Test at elevated temperature	12
4.5 Round wire with a nominal conductor diameter over 2,500 mm.....	13
4.5.1 Test at room temperature	13
4.5.2 Test at elevated temperature	15
4.6 Fibre wound round wire	15
4.6.1 Test at room temperature	15
4.6.2 Test at elevated temperature	16
4.7 Rectangular wire	17
4.7.1 Test at room temperature	17
4.7.2 Test at elevated temperature	17
5 Test 14: Continuity of insulation (applicable to enamelled round and tape wrapped round wire).....	17
5.1 General.....	17
5.2 Low-voltage continuity (nominal conductor diameter up to and including 0,050 mm, grade 1 to grade 3)	18
5.3 High-voltage continuity (nominal conductor diameter over 0,050 mm up to and including 1,600 mm, grade 1 to grade 3, and over 0,035 mm, up to and including 1,600 mm, grade 3 of FIW 3 to FIW 9).....	19
5.3.1 Principle.....	19
5.3.2 Equipment.....	19
5.3.3 Procedure.....	24
5.3.4 Result.....	25
5.4 Inline high-voltage continuity (wires in accordance with grade of FIW 3 to FIW 10 with nominal conductor diameter over 0,035 mm up to and including 1,600 mm)	25
5.4.1 Principle.....	25
5.4.2 Equipment.....	26
5.4.3 Procedure.....	26
5.4.4 Result.....	27

6	Test 19: Dielectric dissipation factor (applicable to enamelled wire and bunched wire)	27
6.1	Principle	27
6.2	Equipment	28
6.3	Specimen	29
6.3.1	Specimen for a metal bath electrode.....	29
6.3.2	Specimen for a conductive suspension electrode.....	29
6.4	Procedure	29
6.5	Result	29
7	Test 23: Pin hole test.....	29
	Annex A (informative) Dissipation factor methods	31
	Figure 1 – Arrangement of cylinder and specimen for the breakdown voltage test.....	10
	Figure 2 – Device for twisting the specimen for breakdown voltage test	12
	Figure 3 – U-bend specimen for the breakdown voltage test (specimen placed in shot bath)	14
	Figure 4 – Coil-wound specimen for the breakdown voltage test	16
	Figure 5 – Apparatus for testing the low-voltage continuity of covering	18
	Figure 6 – High-voltage d.c. continuity – Pulleys for wire size 0,050 mm to 0,250 mm	21
	Figure 7 – Pulley dimensions and spacing for wire size 0,250 mm to 1,600 mm	21
	Figure 8a – Graphite fibre single brush electrode assembly	22
	Figure 8b – Graphite fibre dual brush electrode assembly.....	23
	Figure 8 – Graphite fibre single or dual brush electrode assembly.....	23
	Figure 9 – Suitable electrode arrangement for testing the dielectric dissipation factor	28
	Figure A.1 – Example of linear method for sole coating.....	33
	Figure A.2 – Example of logarithmic method for sole coating	33
	Table 1 – Rates of test voltage increase	8
	Table 2 – Loads applied to the wire	9
	Table 3 – Loads applied to the wire and number of twists	12
	Table 4 – Off-line HVC fault currents	20
	Table 5 – Test voltages.....	24
	Table 5.1 – Off-line HVC test voltages for grades 1 – 3.....	24
	Table 5.2 – Off-line HVC test voltages for grade of FIW 3 – FIW 9.....	25
	Table 6 – In-line HVC fault currents	26
	Table 7 – In-line HVC test voltages.....	27

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

WINDING WIRES –
TEST METHODS –

Part 5: Electrical properties

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.

This consolidated version of IEC 60851-5 consists of the fourth edition (2008) [documents 55/1069/FDIS and 55/1078/RVD] and its amendment 1 (2011) [documents 55/1223/FDIS and 55/1251/RVD]. It bears the edition number 4.1.

The technical content is therefore identical to the base edition and its amendment and has been prepared for user convenience. A vertical line in the margin shows where the base publication has been modified by amendment 1. Additions and deletions are displayed in red, with deletions being struck through.

International Standard IEC 60851-5 has been prepared by IEC technical committee 55: Winding wires.

Significant revisions to the previous edition include the following points:

- in Subclause 5.3, the addition of the use of carbon brush electrodes for the counting discontinuities during the high voltage continuity test, as an alternative to the V-groove pulley electrode;
- clarifications in the breakdown voltage test for round wires larger than 2,500 mm and for fibrous covered wires.

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

A list of all the parts in the IEC 60851 series, under the general title *Winding wires – Test methods*, can be found on the website.

The amendment 1 includes

- in Clause 4 the addition of dielectric breakdown requirements for fully insulated (FIW) zero-defect enamelled round copper wires;
- in Clause 5 the addition of continuity requirements for fully insulated (FIW) zero-defect enamelled round copper wires.

The committee has decided that the contents of the base publication and its amendments will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site 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.

IMPORTANT – The “colour inside” logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this publication using a colour printer.

INTRODUCTION

This part of IEC 60851 forms an element of a series of standards which deals with insulated wires used for windings in electrical equipment. The series has three groups describing

- a) winding wires – Test methods (IEC 60851);
- b) specifications for particular types of winding wires (IEC 60317);
- c) packaging of winding wires (IEC 60264).

WINDING WIRES – TEST METHODS –

Part 5: Electrical properties

1 Scope

This part of IEC 60851 specifies the following tests:

- Test 5: Electrical resistance;
- Test 13: Breakdown voltage;
- Test 14: Continuity of insulation;
- Test 19: Dielectric dissipation factor;
- Test 23: Pin hole.

For definitions, general notes on methods of test and the complete series of methods of test for winding wires, see IEC 60851-1.

2 Normative references

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

IEC 60851-1, *Winding wires – Test methods – Part 1: General*

3 Test 5: Electrical resistance

Electrical resistance is the d.c. resistance at 20 °C of 1 m of wire.

The method used shall provide a precision of 0,5 %.

For bunched wires a length of up to 10 m shall be used and the ends shall be soldered before the measurement. When measuring the resistance to check for an excessive number of broken wires, a length of 10 m of bunched wire shall be used.

If the resistance R_t is measured at a temperature t other than 20 °C, the resistance R_{20} at 20 °C shall be calculated by means of the following formula:

$$R_{20} = \frac{R_t}{1 + \alpha (t - 20)}$$

where

t is the actual temperature in degrees Celsius during the measurement;

α is the temperature coefficient in K⁻¹.

In the temperature range from 15 °C to 25 °C, the temperature coefficient to be used shall be:

- for copper: $\alpha_{20} = 3,96 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$;
- for aluminium: $\alpha_{20} = 4,07 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.

One test shall be made. The electrical resistance shall be reported.

4 Test 13: Breakdown voltage

4.1 Principle

The test voltage shall be an a.c. voltage of 50 Hz or 60 Hz nominal frequency. The test voltage shall be applied at zero and increased at a uniform rate according to Table 1.

Table 1 – Rates of test voltage increase

Breakdown voltage V		Rate of increase V/s
Over	Up to and including	
–	500	20
500	2 500	100
2 500	–	500

4.2 Equipment

The following equipment shall be used:

- test transformer with a rated power of at least 500 VA providing an a.c. voltage of an undistorted sine waveform under test conditions, with a peak factor being within the limits of $\sqrt{2} \pm 5 \%$ (1,34 to 1,48) and with a capacity to supply a current of 5 mA with a maximum voltage drop of 2 %;
- fault detection circuit, which operates at a current of 5 mA or more;
- arrangement to provide a uniform rise of the test voltage at the specified rate;
- oven with forced air circulation;
- polished metal cylinder, 25 mm $\pm$ 1 mm in diameter, mounted with its axis horizontal (see Figure 1) and electrically connected to one terminal of the test voltage supply;
- twisting device according to Figure 2, that allows to twist two pieces of wire for a length of 125 mm;
- strips of metal foil, 6 mm in width and pressure sensitive tape, 12 mm in width;
- container with metal shot of stainless steel or nickel-plated iron. The diameter of the shot shall not exceed 2 mm. The shot shall be cleaned periodically by suitable means;
- metal mandrel, 50 mm $\pm$ 2 mm in diameter;
- metal mandrel, 25 mm $\pm$ 1 mm in diameter;
- metal mandrel, 80 mm $\pm$ 3 mm in diameter.

4.3 Enamelled round wire ~~with a nominal conductor diameter up to and including 0,100 mm~~

4.3.1 Grade 1 to grade 3 with a nominal diameter up to and including 0,100 mm

~~A straight piece of wire with the insulation removed at one end shall be connected to the upper terminal as shown in Figure 1 and wound once around the cylinder. A load as specified in Table 2 shall be applied to the lower end of the wire to keep the specimen in close contact with the cylinder.~~

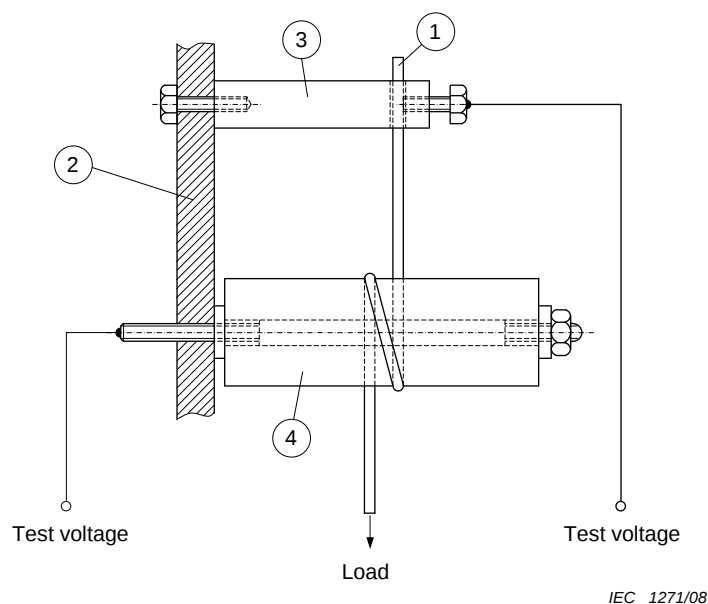
The test is carried out on a cylinder with a diameter of $25 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$. A straight piece of wire with the insulation removed at one end shall be connected to the upper terminal as shown in Figure 1 and wound once around the cylinder. A load as specified in Table 2.1 shall be applied to the lower end of the wire to keep the specimen in close contact with the cylinder.

The test voltage shall be applied according to 4.1 between the conductor of the wire and the cylinder. The test shall be carried out at room temperature.

Five specimens shall be tested. The five single values shall be reported.

Table 2.1 – Loads applied to the wire

Nominal conductor diameter mm		Load N
Over	Up to and including	
—	0,018	0,013
0,018	0,020	0,015
0,020	0,022	0,020
0,022	0,025	0,025
0,025	0,028	0,030
0,028	0,032	0,040
0,032	0,036	0,050
0,036	0,040	0,060
0,040	0,045	0,080
0,045	0,050	0,100
0,050	0,056	0,120
0,056	0,063	0,150
0,063	0,071	0,200
0,071	0,080	0,250
0,080	0,090	0,300
0,090	0,100	0,400



- 1 specimen
- 2 insulating material
- 3 upper terminal
- 4 cylinder

Figure 1 – Arrangement of cylinder and specimen for the breakdown voltage test

4.3.2 Grade of FIW 3 to FIW 9 with a nominal conductor diameter up to and including 1,600 mm

The test is carried out on a cylinder with a diameter as set out in Table 2.2.

A straight piece of wire with the insulation removed at one end shall be connected to the upper terminal as shown in Figure 1 and wound once around the cylinder. A load as specified in Table 2.2 shall be applied to the lower end of the wire to keep the specimen in close contact with the cylinder.

The test voltage shall be applied according to 4.1 between the conductor of the wire and the cylinder. The test shall be carried out at room temperature. Five specimens shall be tested. The five single values shall be reported.

Table 2.2 – Loads and diameters of test cylinders applied to wire

Nominal diameter mm	Nominal diameter mm	Load N	Diameter of test cylinder mm
Over	Up to and including		
-	0,040	0,080	25 ± 1
0,040	0,045	0,100	25 ± 1
0,045	0,050	0,130	25 ± 1
0,050	0,056	0,160	25 ± 1
0,056	0,063	0,200	25 ± 1
0,063	0,071	0,260	25 ± 1
0,071	0,080	0,330	25 ± 1
0,080	0,090	0,400	25 ± 1
0,090	0,100	0,500	25 ± 1
0,100	0,160	0,600	25 ± 1
0,160	0,250	0,850	25 ± 1
0,250	0,355	1,700	25 ± 1
0,355	0,500	3,400	25 ± 1
0,500	0,710	7,000	50 ± 2
0,710	1,060	13,500	50 ± 2
1,060	1,400	27,000	80 ± 3
1,400	1,600	54,000	80 ± 3

4.4 Enamelled round wire with a nominal conductor diameter over 0,100 mm up to and including 2,500 mm, grade 1 to grade 3

4.4.1 Test at room temperature

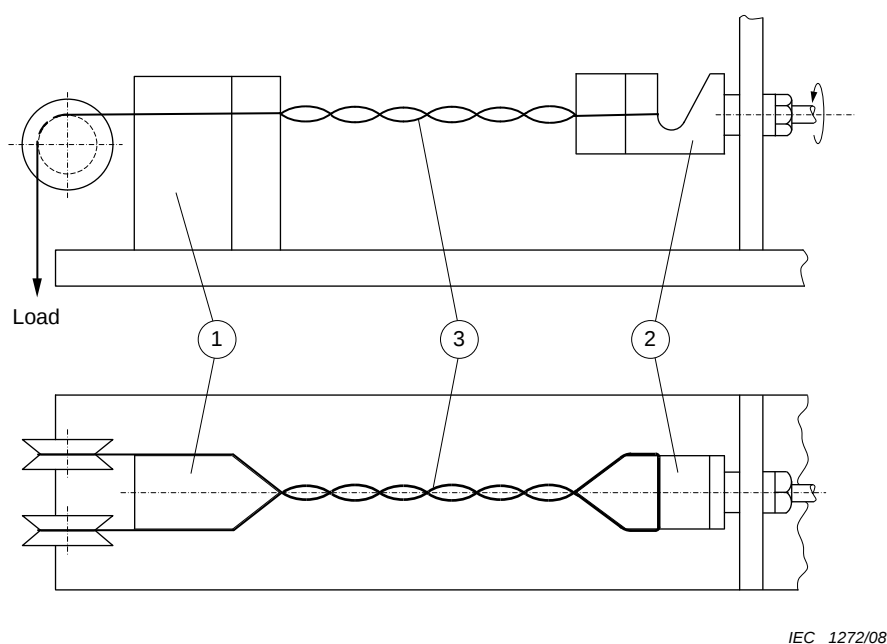
A straight piece of wire, approximately 400 mm in length, with the insulation removed at both ends, shall be twisted back on itself for a distance of (125 ± 5) mm on the twisting device as shown in Figure 2. The ends of the wire shall be joined, and the load applied with the number of twists, as given in Table 3. The loop at the end of the twisted section shall be cut at two places to provide a maximum spacing between the cut ends. Any bending to ensure adequate separation between the two wire ends shall avoid sharp bends or damage to the coating.

The test voltage shall be applied according to 4.1 between the conductors of the wires.

Five specimens shall be tested. The five single values shall be reported.

Table 3 – Loads applied to the wire and number of twists

Nominal conductor diameter mm		Load N	Number of twists
Over	Up to and including		
0,100	0,250	0,85	33
0,250	0,355	1,70	23
0,355	0,500	3,40	16
0,500	0,710	7,00	12
0,710	1,060	13,50	8
1,060	1,400	27,00	6
1,400	2,000	54,00	4
2,000	2,500	108,00	3



- 1 spacer
- 2 rotary hook
- 3 specimen

Figure 2 – Device for twisting the specimen for breakdown voltage test

4.4.2 Test at elevated temperature

A specimen prepared according to 4.4.1 shall be placed in the oven preheated to the specified test temperature ± 3 °C. The test voltage shall be applied according to 4.1 between the conductors of the wires in not less than 15 min after placing the specimen in the oven. The test shall be completed within 30 min.

Five specimens shall be tested. The five single values shall be reported.

4.5 Round wire with a nominal conductor diameter over 2,500 mm

4.5.1 Test at room temperature

A straight piece of wire of sufficient length, with the insulation removed at one end, shall be bent around a mandrel as shown in Figure 3.

The diameter of the mandrel shall be 50 mm $\pm$ 2 mm.

The specimen shall be placed in the container and shall be surrounded by shot at least 5 mm between the specimen and the inner walls of the container. The ends of the specimen shall be sufficiently long to avoid flashover.

The shot shall be poured gently into a container until the specimen is covered by shot at a depth of 90 mm. The metal shot shall be not more than 2 mm in diameter; balls of stainless steel, nickel or nickel-plated iron have been found suitable. The shot shall be cleaned periodically with a suitable solvent (for example, 1,1,1-trichloroethane).

The test voltage shall be applied according to 4.1, between the conductor and the shot.

NOTE By agreement between the purchaser and the supplier, the test may be carried out with the specimen under oil. Oil should be in accordance with IEC 60296 or as agreed upon between customer and supplier.

Five specimens shall be tested. The five single values shall be reported.

Dimensions in millimetres

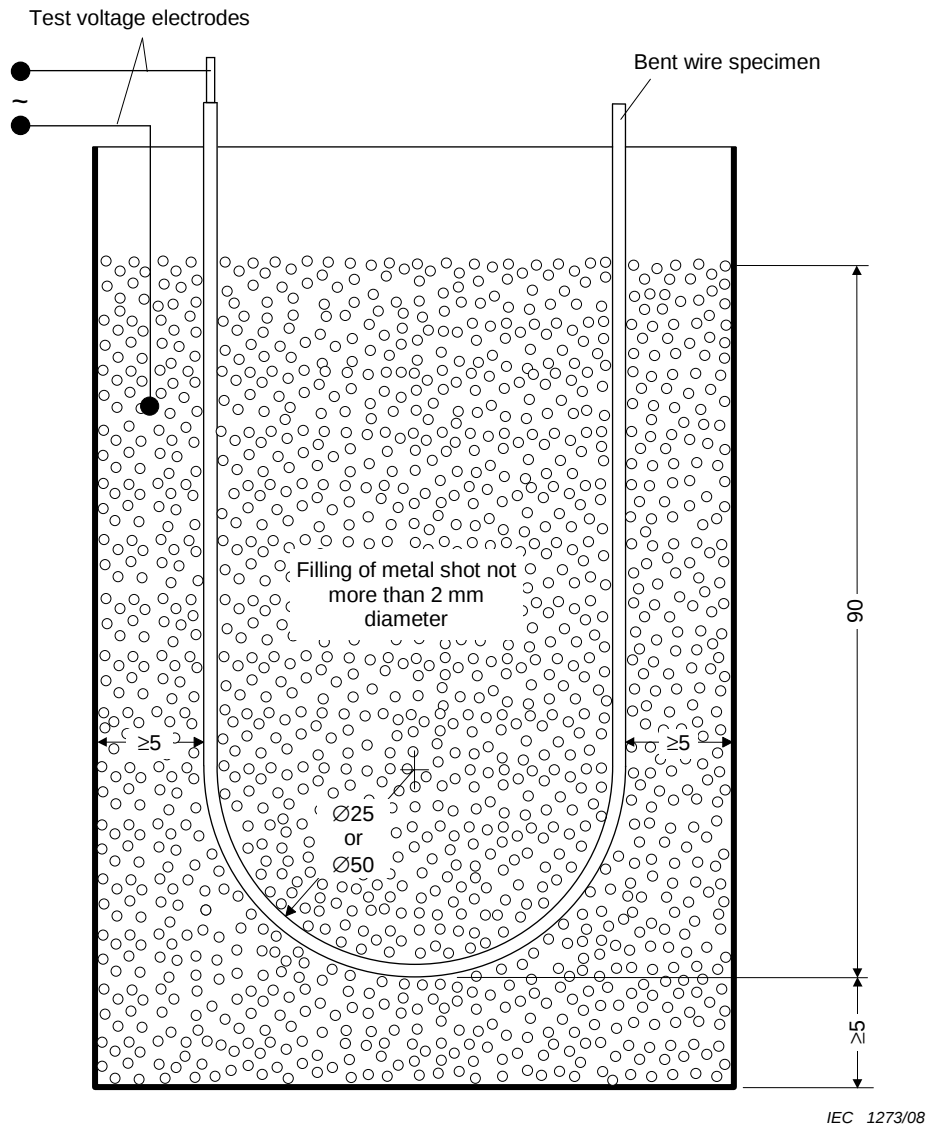


Figure 3 – U-bend specimen for the breakdown voltage test
(specimen placed in shot bath)

4.5.2 Test at elevated temperature

A specimen prepared according to 4.5.1 shall be placed in the oven preheated to the specified test temperature ± 3 °C. The shot and container shall be preheated within the oven at the test temperature and kept there during the loading of the test specimen. The loading operation of the test specimen shall be performed very gently in order to avoid damage to the specimen.

The test voltage shall be applied according to 4.1 between the conductor and the shot in not less than 15 min after placing the specimen in the oven. The test shall be completed within 30 min.

The temperature shall be kept within ± 3 °C.

Five specimens shall be tested. The five single values shall be reported.

4.6 Fibre wound round wire

4.6.1 Test at room temperature

A straight piece of wire of sufficient length with the insulation removed at one end shall be bent 10 turns around a mandrel as shown in Figure 4. The diameter of the mandrel shall be

- 25 mm $\pm$ 1 mm for nominal diameter up to and including 2,500 mm;
- 50 mm $\pm$ 2 mm for nominal diameter over 2,500 mm.

The specimen shall be placed in the container as shown in Figure 4 and shall be surrounded by shot at least 5 mm between the specimen and the inner walls of the container. There shall be a minimum distance of 2,5 mm between adjacent turns. The ends of the specimen shall be sufficiently long to avoid flashover.

The shot shall be poured gently into the container until the specimen is covered by shot at a depth of 90 mm. The metal shot shall not be more than 2 mm in diameter; balls of stainless steel, nickel or nickel-plated iron have been found suitable. The shot shall be cleaned once per year.

The test voltage shall be applied according to 4.1 between the conductor of the wire and the shot.

NOTE By agreement between the purchaser and the supplier, the test may be carried out with the specimen under oil. Oil should be in accordance with IEC 60296 or as agreed upon between customer and supplier.

Five specimens shall be tested. The five single values shall be reported.

Dimensions in millimetres

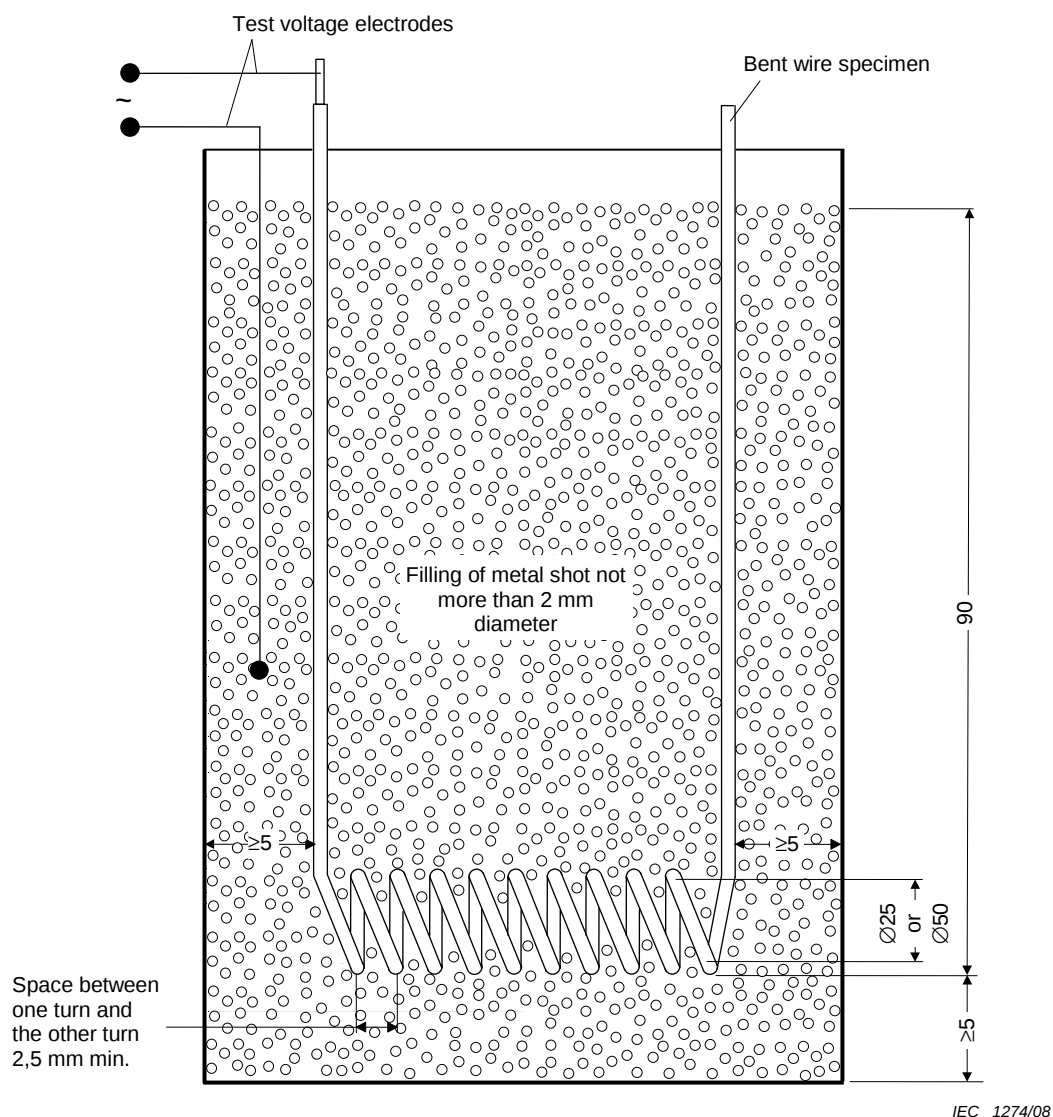


Figure 4 – Coil-wound specimen for the breakdown voltage test

4.6.2 Test at elevated temperature

A specimen prepared according to 4.6.1 shall be placed in the oven preheated to the specified test temperature ± 3 °C. The shot and container shall be preheated within the oven at the test temperature and kept there during the loading of the test specimen. The loading operation of the test specimen shall be performed very gently in order to avoid damage to the specimen. The test voltage shall be applied according to 4.1 between the conductor and the shot in not less than 15 min after placing the specimen in the oven. The test shall be completed within 30 min.

The temperature shall be kept within ± 3 °C.

Five specimens shall be tested. The five single values shall be reported.

4.7 Rectangular wire

4.7.1 Test at room temperature

A straight piece of wire approximately 350 mm in length with the insulation removed at one end shall be bent on the flat around a mandrel as shown in Figure 3. The diameter of the mandrel shall be

- 25 mm $\pm$ 1 mm for nominal thicknesses up to and including 2,500 mm;
- 50 mm $\pm$ 2 mm for nominal thicknesses over 2,500 mm.

The specimen shall be placed in the container and shall be surrounded by shot at least 5 mm between the specimen and the inner walls of the container. The ends of the specimen shall be sufficiently long to avoid flashover.

The shot shall be poured gently into the container until the specimen is covered by shot at a depth of 90 mm. The metal shot shall not be more than 2 mm in diameter; balls of stainless steel, nickel or nickel-plated iron have been found suitable. The shot shall be cleaned periodically.

The test voltage shall be applied according to 4.1 between the conductor of the wire and the shot.

NOTE By agreement between purchaser and supplier, the test may be carried out with the specimen under oil. Oil should be in accordance with IEC 60296 or as agreed upon between customer and supplier.

Five specimens shall be tested. The five single values shall be reported.

4.7.2 Test at elevated temperature

A specimen prepared according to 4.7.1 shall be placed in the oven preheated to the specified test temperature ± 3 °C. The shot and container shall be preheated within the oven at the test temperature and kept there during the loading of the test specimen. The loading operation of the test specimen shall be performed very gently in order to avoid damage to the specimen. The test voltage shall be applied according to 4.1 between the conductor and the shot in not less than 15 min after placing the specimen in the oven. The test shall be completed within 30 min.

The temperature shall be kept within ± 3 °C.

Five specimens shall be tested. The five single values shall be reported.

5 Test 14: Continuity of insulation (applicable to enamelled round and tape wrapped round wire)

5.1 General

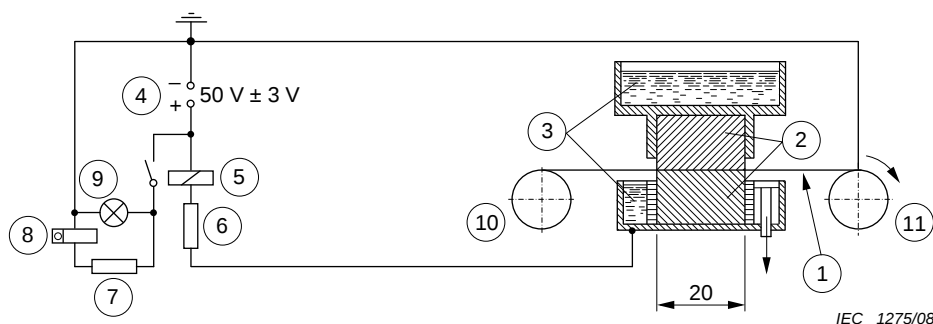
Continuity of insulation is expressed by the number of faults per length of wire detected by means of an electrical test circuit.

5.2 Low-voltage continuity (nominal conductor diameter up to and including 0,050 mm, grade 1 to grade 3)

A wire specimen of (30 ± 1) m shall be pulled with a speed of (275 ± 25) mm/s between two felt pads, which shall be immersed in an electrolytic solution of sodium sulphate in water (30 g/l) with the conductor of the wire and the solution connected to an electrical circuit with an open-circuit d.c. test voltage of (50 ± 3) V (see Figure 5). The force applied to the wire shall not exceed 0,03 N. Faults shall be detected by means of a suitable relay along with a counter. The counter shall operate when the wire coating has a resistance of less than 10 k Ω for a period of at least 0,04 s. The counter shall not operate when the resistance is 15 k Ω or more. The fault detection circuit shall operate with a speed response of (5 ± 1) m/s and with a fault counter repeating at a rate of (500 ± 25) counts per minute when a bare wire is tested.

One test shall be made. The number of faults per 30 m of wire length shall be reported.

Dimensions in millimetres



- | | |
|--|-------------------------------------|
| 1 wire | 7 resistor 50 k Ω |
| 2 felt pads | 8 counter |
| 3 electrolytic solution bath (30 g Na ₂ SO ₄ /l water) | 9 pilot lamp |
| 4 d.c. supply | 10 delivery spool with winding wire |
| 5 relay | 11 take-up spool |
| 6 resistor 50 k Ω | |

Figure 5 – Apparatus for testing the low-voltage continuity of covering

5.3 High-voltage continuity (nominal conductor diameter over 0,050 mm up to and including 1,600 mm, grade 1 to grade 3, and over 0,035 mm, up to and including 1,600 mm, grade 3 of FIW 3 to FIW 9)

5.3.1 Principle

A wire specimen with the conductor earthed is pulled over a "V" grooved electrode (pulley) or through a graphite brush electrode at a constant speed. A d.c. test voltage is applied between the electrode and earth. Any faults in the insulation of the wire are detected and recorded on a counter. The result is listed in faults per 30 m.

5.3.2 Equipment

The following equipment shall be used:

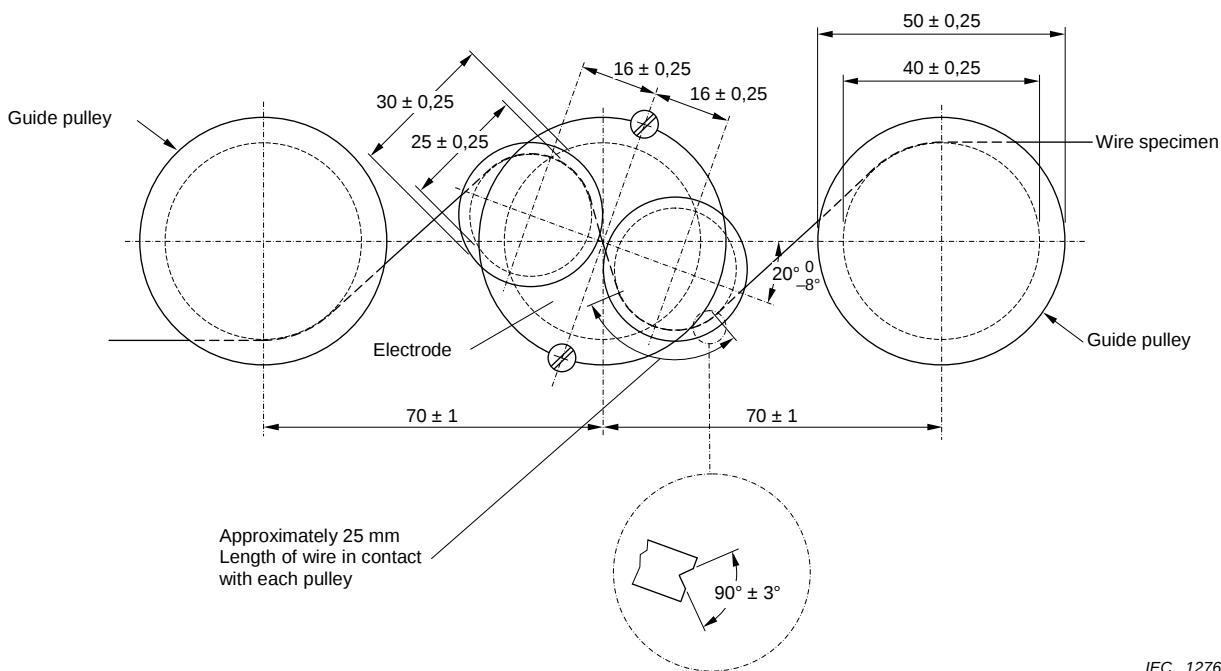
- ~~— high-voltage power supply providing a smooth filtered d.c. voltage with a ripple content less than 5 %, with an open-circuit test voltage adjustable from 350 V to 2 000 V with a short-circuit current limited by internal series resistance to $(25 \pm 5) \mu\text{A}$ at any test voltage and with not more than 75 % drop in voltage in case of a 50 M Ω fault resistance;~~
- high voltage power supply providing a smooth filtered d.c. voltage with a ripple content less than 5 %, with an open circuit test voltage adjustable from 350 V to 3000 V with a short circuit current limited by internal series resistance to $25 \mu\text{A} \pm 5 \mu\text{A}$ at any test voltage with not more than 75 % drop in voltage in case of a 50 M Ω fault resistance;
- fault detection circuit, which operates at a fault current as shown in Table 4 with a speed of response of (5 ± 1) ms and with a fault counter repeating at a rate of (500 ± 25) counts per minute when a bare wire is tested;
- dual high-voltage electrode pulleys according to Figure 6 made of stainless steel and providing a wire contact length of approximately 25 mm on each pulley;
- high-voltage electrode pulley according to Figure 7 made of stainless steel and providing a wire contact length of 25 mm to 30 mm;
- graphite fibre brush electrode assembly according to Figure 8, constructed so that the conductive brushes completely surround and contact the wire surface for a length of $(25 \pm 2,5)$ mm (see Figure 6). The graphite fibre brush electrode shall be inspected, cleaned, or replaced if excessive wear or accumulation of foreign material is present. The graphite brush electrode assembly shall be electrically isolated for the duration of the test to prevent false readings at the specified voltages;
- earthed guide pulleys having an outside diameter of $(50 \pm 0,25)$ mm and root diameter of $(40 \pm 0,25)$ mm and spaced (140 ± 2) mm apart;
- surge damping resistor of $4,7 \text{ M}\Omega \pm 10 \%$ installed in the high-voltage line.

NOTE The earth insulation for the high-voltage electrode should be a high-resistivity material, non-hygroscopic, non-tracking and easily cleaned, having a clearance for maintaining a continuous voltage of 3 000 V. No shielding should be used on the high-voltage lead since a minimum capacitance to ground is required during switching and counting events. The drive motor should be the brushless type and should have sufficient power to maintain the required speed to pull 1,600 mm wire.

Table 4 – Off-line HVC fault currents

Test voltage (d.c.) V	Fault current μA
2 000	12
1 500	10
1 000	8
750	7
500	6
350	5
3 000	16
2 500	14
2 000	12
1 500	10
1 000	8
750	7
500	6
350	5

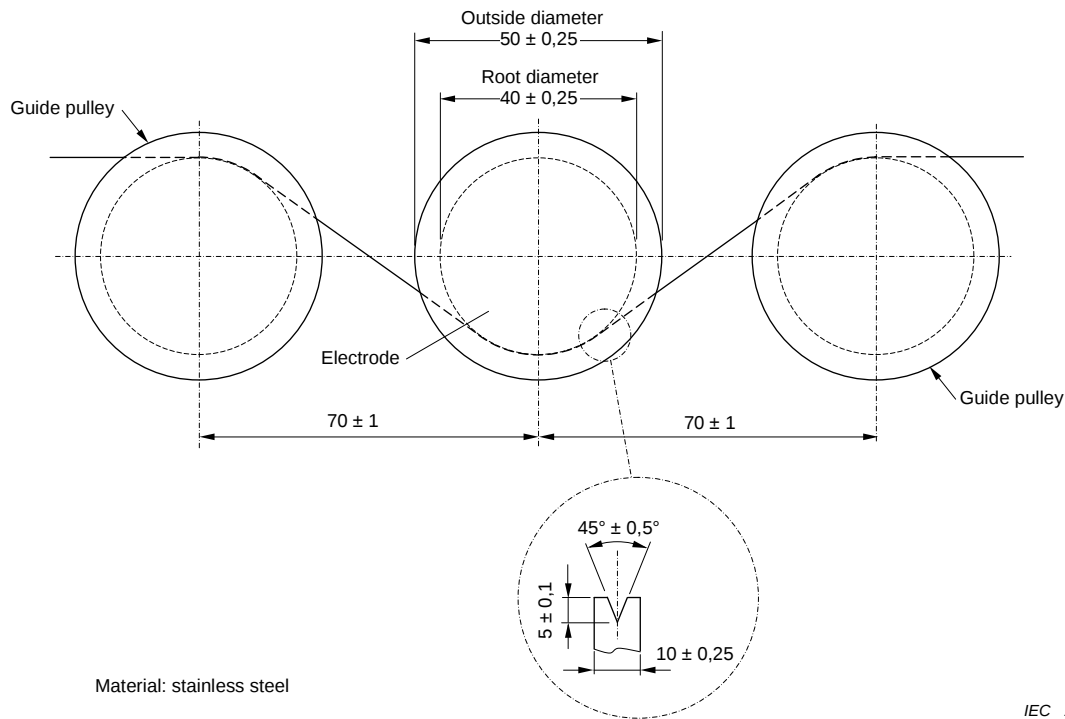
Dimensions in millimetres



IEC 1276/08

**Figure 6 – High-voltage d.c. continuity –
Pulleys for wire size 0,050 mm to 0,250 mm**

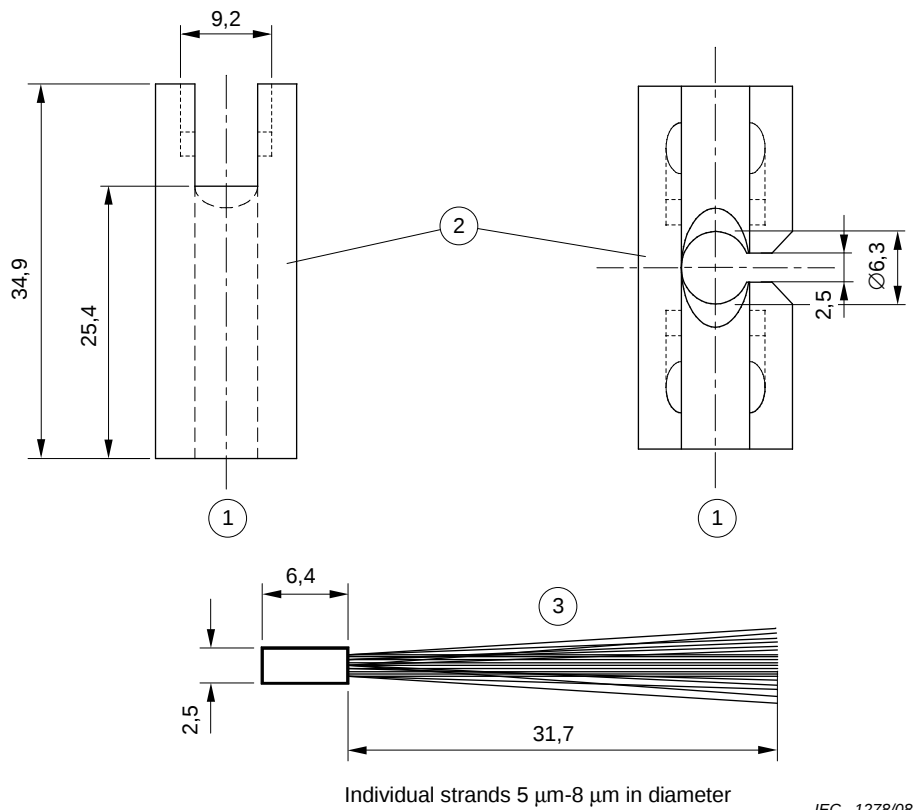
Dimensions in millimetres



IEC 1277/08

Figure 7 – Pulley dimensions and spacing for wire size 0,250 mm to 1,600 mm

Dimensions in millimetres, tolerance of $\pm 1\%$

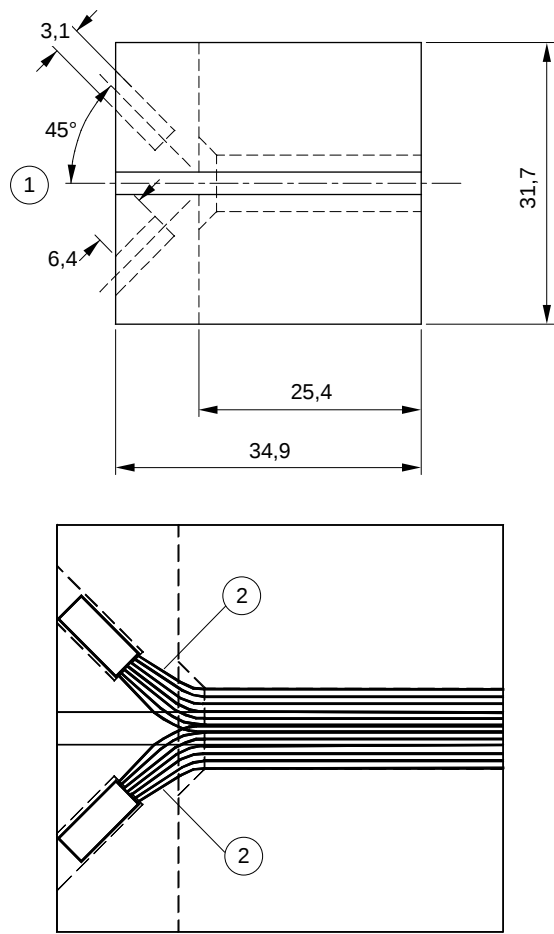


IEC 1278/08

- 1 wire path
- 2 brush mounting block
- 3 single graphite brush

Figure 8a – Graphite fibre single brush electrode assembly

Dimensions in millimetres, tolerance of $\pm 1\%$



Individual strands 5 µm-8 µm in diameter

IEC 1279/08

- 1 wire path
- 2 dual graphite brushes

Figure 8b – Graphite fibre dual brush electrode assembly

Figure 8 – Graphite fibre single or dual brush electrode assembly

5.3.3 Procedure

~~A wire specimen of 30 m ± 1 m shall be pulled with a speed of (275 ± 25) mm/s over the high-voltage electrode pulley or through the graphite brush electrode mounted between the earthed guide pulleys with the conductor of the wire and the electrode connected to the electrical circuit, with the open-circuit d.c. test voltage adjusted according to Table 5 with a tolerance of ±5 % and with a positive polarity with respect to the earthed conductor of the wire.~~

A wire specimen of 30 m ± 1 m shall be pulled with a speed of (275 ± 25) mm/s over the high-voltage electrode pulley or through the graphite brush electrode mounted between the earthed guide pulleys with the conductor of the wire and the electrode connected to the electrical circuit, with the open-circuit d.c. test voltage adjusted according to Table 5.1 or Table 5.2, whichever applies, with a tolerance of ± 5 % and with a positive polarity with respect to the earthed conductor of the wire.

Table 5 — Test voltages

Type of conductor	Nominal conductor diameter mm		Voltage (d.c.) V		
	Over	Up to and including	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Copper	0,050	0,125	—350	—500	—750
	0,125	0,250	—500	—750	—1 000
	0,250	0,500	—750	—1 000	—1 500
	0,500	1,600	—1 000	—1 500	—2 000
Aluminium	0,400	1,600	—500	—1 500	—

Table 5.1 – Off-line HVC test voltages for grades 1 – 3

Type of conductor	Nominal conductor diameter mm		Voltage (d.c.) V		
	Over	Up to and including	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Copper	0,050	0,125	350	500	750
	0,125	0,250	500	750	1000
	0,250	0,500	750	1000	1500
	0,500	1,600	1000	1500	2000
Aluminium	0,400	1,600	500	1500	

Table 5.2 – Off-line HVC test voltages for grade of FIW 3 – FIW 9

Type of conductor	Nominal conductor diameter mm		Test voltage d.c.							
	Over	Up to and incl.	Grade of FIW 3	Grade of FIW 4	Grade of FIW 5	Grade of FIW 6	Grade of FIW 7	Grade of FIW 8	Grade of FIW 9	
Copper	0,035	0,050	750	750	1000	2000	2000	2000	—	
	0,050	0,053	750	750	1000	2000	2000	2000	—	
	0,053	0,063	750	750	1000	2000	2000	3000	—	
	0,063	0,085	750	1000	2000	2000	2000	3000	3000	
	0,085	0,095	750	1000	2000	2000	3000	3000	3000	
	0,095	0,118	750	1000	2000	2000	3000	3000	3000	
	0,118	0,125	1000	2000	2000	3000	3000	3000	3000	
	0,125	0,170	1000	2000	2000	3000	3000	3000	3000	
	0,170	0,190	1000	2000	3000	3000	3000	3000	3000	
	0,190	0,250	2000	2000	3000	3000	3000	3000	3000	
	0,250	0,300	2000	2000	3000	3000	3000	3000	3000	
	0,300	0,375	2000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	
	0,375	0,425	2000	3000	3000	3000	3000	3000	—	
	0,425	0,500	2000	3000	3000	3000	3000	—	—	
	0,500	0,600	2000	3000	3000	3000	3000	—	—	
	0,600	0,750	3000	3000	3000	3000	3000	—	—	
	0,750	1,060	3000	3000	3000	3000	—	—	—	
	1,060	1,600	3000	3000	3000	—	—	—	—	
Aluminium	0,400	1,600	—	—	—	—	—	—	—	

5.3.4 Result

One test shall be made. The number of faults per 30 m of wire length shall be reported.

5.4 Inline high-voltage continuity (wires in accordance with grade of FIW 3 to FIW 10 with nominal conductor diameter over 0,035 mm up to and including 1,600 mm)

5.4.1 Principle

During the enameling process and just prior to the wire being taken up on the delivery drum, spool or reel, it is run over a “V”-grooved electrode (pulley) or through a graphite brush electrode. DC test voltage is applied between the electrode and earth (ground). The wire conductor is continuously connected to earth (ground). The wire run length and number of faults in the insulation are recorded by a counting device.

5.4.2 Equipment

The following equipment shall be used:

- high-voltage power supply providing a smooth filtered d.c. voltage with a ripple content less than 5 %, with an open circuit test voltage adjustable from 350 V to 3000 V with a short-circuit current limited by internal series resistance to $25 \mu\text{A} \pm 5 \mu\text{A}$ at any test voltage and with not more than 75 % drop in voltage in case of a 50 M Ω fault resistance;
- fault detection circuit which operates at a fault current as shown in Table 6 with a speed of response of $\leq 1,5 \text{ ms}$;
- electrode pulley, graphite brush, or other contact configuration made of a conductive material and providing a wire contact length, giving a contact time of at least 2,25 ms (e.g. $\geq 25 \text{ mm}$ at $\leq 667 \text{ m/min}$ wire run speed);
- surge damping resistor of $4,7 \text{ M}\Omega \pm 10 \%$ installed in the high-voltage line.

NOTE The earth insulation for the high-voltage electrode should be a high-resistivity material, non-hygroscopic, non-tracking and easily cleanable, having a clearance for maintaining a continuous voltage of 3000 V. No shielding should be used on the high-voltage lead since a minimum capacitance to ground is required during switching and counting events.

5.4.3 Procedure

The enamelled wire shall be pulled continuously at the enamelling machine production speed over a high-voltage electrode pulley, a graphite brush electrode or other electrode configuration located before the delivery drum, spool or reel, with the conductor of the wire and the electrode connected to the electrical circuit, and the open-circuit d.c. test voltage adjusted according to Table 7 with a tolerance of $\pm 5 \%$ and with a positive polarity with respect to the earthed (grounded) conductor of the wire.

Table 6 – In-line HVC fault currents

Test voltage (d.c.) V	Fault current μA
3 000	18
2 000	14
1 000	10
750	9

Table 7 – In-line HVC test voltages

Type of conductor	Nominal diameter mm		Test voltage d.c.							
	Over	Up to and incl.	Grade of FIW 3	Grade of FIW 4	Grade of FIW 5	Grade of FIW 6	Grade of FIW 7	Grade of FIW 8	Grade of FIW 9	
Copper	0,035	0,050	750	750	1000	2000	2000	2000	3000	
	0,050	0,053	750	750	1000	2000	2000	2000	3000	
	0,053	0,063	750	750	1000	2000	2000	3000	3000	
	0,063	0,085	750	1000	2000	2000	2000	3000	3000	
	0,085	0,095	750	1000	2000	2000	3000	3000	3000	
	0,095	0,118	750	1000	2000	2000	3000	3000	3000	
	0,118	0,125	1000	2000	2000	3000	3000	3000	3000	
	0,125	0,170	1000	2000	2000	3000	3000	3000	3000	
	0,170	0,190	1000	2000	3000	3000	3000	3000	3000	
	0,190	0,250	2000	2000	3000	3000	3000	3000	3000	
	0,250	0,300	2000	2000	3000	3000	3000	3000	3000	
	0,300	0,375	2000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	
	0,375	0,425	2000	3000	3000	3000	3000	3000	—	
	0,425	0,500	2000	3000	3000	3000	3000	—	—	
	0,500	0,600	2000	3000	3000	3000	3000	—	—	
	0,600	0,750	3000	3000	3000	3000	3000	—	—	
	0,750	1,060	3000	3000	3000	3000	—	—	—	
	1,060	1,600	3000	3000	3000	—	—	—	—	
Aluminium	0,400	1,600	—	—	—	—	—	—	—	

5.4.4 Result

The run length and number of faults for the continuous wire wound onto delivery drums, spools or reels shall be recorded.

6 Test 19: Dielectric dissipation factor (applicable to enamelled wire and bunched wire)

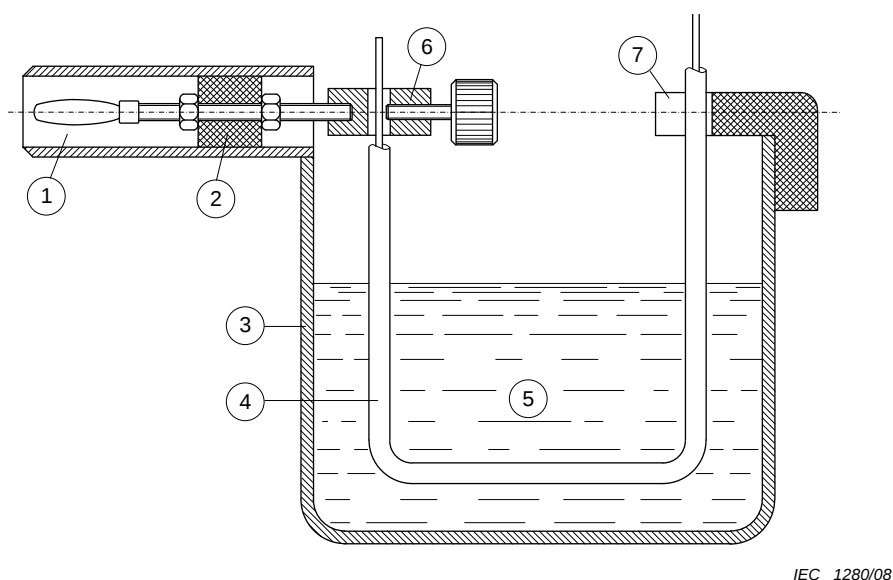
6.1 Principle

A piece of wire is treated as a capacitor whose coating forms the dielectric and whose conductor acts as one and a conducting medium as the second electrode. This capacitor is connected into a circuit, which operates at the required frequency and which is suitable for measurement of the capacitive and resistive components from which the dielectric dissipation factor is obtained.

6.2 Equipment

The following equipment shall be used:

- impedance meter, which shall operate at the frequency specified in the relevant standard and which shall provide a precision of ± 1 % based on capacitance through the capacitance range required by the specimen at this frequency;
- frequency generator, which shall have a sinusoidal voltage output with a frequency specified in the relevant standard;
- test method A:
 - metal bath according to Figure 9, which shall contain any suitable liquid metal (alloy) and which shall have a heating system that controls the temperature to ± 1 °C;
- test method B:
 - two metal blocks with a heating system that controls the temperature to ± 1 °C;
 - conducting suspension.



- | | |
|-----------------------|-------------------|
| 1 plug | 5 electrode |
| 2 insulating material | 6 terminal |
| 3 metallic container | 7 insulated clamp |
| 4 specimen | |

Figure 9 – Suitable electrode arrangement for testing the dielectric dissipation factor

6.3 Specimen

6.3.1 Specimen for a metal bath electrode

A straight piece of wire shall be bent into a U-shape to be lowered into the metal bath according to Figure 9.

6.3.2 Specimen for a conductive suspension electrode

6.3.2.1 Enamelled round wire with a nominal conductor diameter up to and including 0,100 mm

A straight piece of wire (100 ± 5) mm in length shall be wound around a straight piece of bare copper wire of 1 mm to 2 mm diameter and subsequently coated with a conductive suspension, for example by brushing a layer of an aqueous graphite dispersion on the specimen, which shall then be dried, for example, for 30 min at 100 °C in an oven with forced air circulation.

6.3.2.2 Enamelled round wire with a nominal conductor diameter over 0,100 mm and enamelled rectangular wire

A straight piece of wire about 150 mm in length shall be coated with a conductive suspension, for example, by brushing a layer of an aqueous graphite dispersion on the wire. The length of this layer shall be (100 ± 5) mm. The specimen shall be dried, for example, for 30 min at 100 °C in an oven with forced air circulation.

6.4 Procedure

Test method A: The specimen according to 6.3.1 shall be lowered into the metal bath according to Figure 9.

Test method B: The specimen according to 6.3.2 shall be placed between the two metal blocks. The specimen shall be connected to the impedance meter and shall be allowed to reach the specified test temperature. Thereafter, the dielectric dissipation factor shall be read directly from the impedance meter.

6.5 Result

One specimen shall be tested. The dielectric dissipation factor, the test frequency and the test temperature shall be reported.

7 Test 23: Pin hole test

The intent of this test is to find insulation defects after treatment with a salt water solution. The objective of this test is similar to that of the high-voltage continuity test in 5.3.

A wire specimen approximately 1,5 m in length is taken for conductors of nominal diameter less than 0,07 mm, and approximately 6 m in length for conductors of nominal diameter equal to 0,07 mm or more.

For a nominal diameter less than 0,07 mm, $1 \text{ m} \pm 0,05 \text{ m}$ of wire shall be wound in a round shape with a diameter of $100 \text{ mm} \pm 50 \text{ mm}$.

For a nominal diameter of 0,07 mm or more, $5 \text{ m} \pm 0,2 \text{ m}$ of wire shall be wound in a round shape with a diameter of $300 \text{ mm} \pm 100 \text{ mm}$.

The specimen is placed in an air circulation oven at $125 \text{ °C} \pm 3 \text{ °C}$ for 10 min (see note 1 below) (if not otherwise specified in the relevant specification).

After this heat treatment, without any bending or stretching (see note 2 below), the specimen after cooling to room temperature shall be immersed in an electrolytic solution of sodium chloride (2 g/l) added with a proper quantity of phenolphthalein alcohol solution (30 g/l) for the easy evidence of any pin holes (typically pink streams in the solution), with the conductor of the wire and the solution connected to an electrical circuit with an open-circuit d.c. test voltage of (12 ± 2) V.

The voltage shall be applied for 1 min with the specimen as negative electrode relative to the solution and, in order to avoid excessive heating, the short-circuit current shall be limited to 500 mA.

The number of observed pin holes, without magnification (normal vision), shall be reported.

NOTE 1 Without heat treatment the results cannot be significant.

NOTE 2 Elongation of the wire may lead to the creation of pin holes in the electrolytic solution.

NOTE 3 Because this test is done in an aqueous solution, misleading results may be found for specific enamel types, which show crazing behaviour in water.

Annex A (informative)

Dissipation factor methods

A.1 Tangent delta – Intersection point

A number of methods are available in order to check the repeatability of curing. These are included as examples.

The principle is as follows: A specimen of enamelled wire is treated as a capacitor, using the conductor as one electrode and as the other electrode either a coating of dried film of graphite, or a bath of molten metal. The temperature of the specimen is raised at a controlled and uniform rate and the dissipation factor (d) is determined and plotted to produce a graph of dissipation factor (tangent delta) vs. temperature. Interpretation of the curve allows a value of temperature to be obtained which relates directly to the degree of cure of the enamel film. Alternative methods are in use, in which the specimen is cooled from a higher to a lower temperature.

A.2 Test methods

A.2.1 Method A

A.2.1.1 Using molten metal alloy with increasing temperature

An electronic bridge allowing the value of d to be determined directly shall be used.

Enamelled wire specimen shall be wiped clean with soft cloth and assembled onto the fixture. The wire specimen with fixture shall be immersed in a molten liquid metal bath pre-adjusted at the lowest temperature. The specimen shall be connected to the bridge with the conductor as the one electrode and the molten liquid metal as the other. The temperature of the assembly shall be increased at a steady rate from ambient temperature to a temperature to give a clearly defined curve. Readings of tangent delta and temperature are taken regularly and the results are plotted in a graph with linear axis for temperature and logarithmic or linear axis for tangent delta. Because the readings can vary quickly, it is preferable to take the readings automatically onto a chart recorder or computer system. The use of automatic recording allows the test to be performed with a more rapid temperature rise although great care should be taken to ensure that there is no significant lag between the reading and the actual temperature. The actual equipment, temperature rise and interpretation should be agreed between customer and supplier.

A.2.1.2 Using molten metal alloy with decreasing temperature

An electronic bridge allowing the value of d to be determined directly shall be used.

An enamelled wire specimen shall be wiped clean with a soft cloth and assembled onto the fixture. The wire specimen with fixture shall be immersed for 30 s in a molten liquid metal bath pre-adjusted at the highest temperature. The specimen shall then be removed and shaken to remove excess molten alloy, cooled for approximately 10 s at room temperature, then immersed again. The specimen shall be connected to the bridge with the conductor as the one electrode and the molten liquid metal as the other. The temperature of the assembly shall be steadily decreased to give a clearly defined curve of dielectric dissipation factor vs. temperature. One test shall be conducted.

Readings of tangent delta and temperature shall be taken regularly and the results plotted in a graph with temperature on the X-axis (linear) and dielectric dissipation factor (tangent delta) on the Y-axis (logarithmic or linear). Because the readings can vary quickly, it is preferable to take the readings automatically onto a chart recorder or computer system. The use of automatic recording allows the test to be performed with a more rapid temperature rise although great care should be taken to ensure that there is no significant lag between the reading and the actual temperature. The actual equipment, temperature rise and interpretation should be agreed upon between customer and supplier.

NOTE The highest temperature of molten alloy bath at which the wire specimen is inserted and tan-delta plotted on the cooling curve depends on the type of insulation and the glass-transition temperature (tg) of the enamel. This can be determined by pre-testing of unknown wire enamel.

A.2.2 Method B – Wire coated with a conductive film

An electronic bridge allowing the value of d to be determined directly shall be used.

The specimen shall be connected to the bridge with the conductor as the one electrode and the graphite coating as the other.

The temperature of the assembly shall be increased at a steady rate from ambient temperature to a temperature to give a clearly defined curve. The temperature shall be taken through a detector in contact with the specimen. The position of the temperature detector and the type of contact can influence the reading and different devices can give different results. Readings of tangent delta and temperature are taken regularly and the results are plotted in a graph with linear axis for temperature and logarithmic or linear axis for tangent delta. Because the readings can vary quickly it is preferable to take the readings automatically onto a chart recorder or computer system. The use of automatic recording allows the test to be performed with a more rapid temperature rise although great care should be taken to ensure that there is no significant lag between the reading and the actual temperature. The actual equipment, temperature rise and interpretation should be agreed between customer and supplier.

A.3 Interpretation of results

A.3.1 General

The tangent delta curve can be presented in two ways in the resulting graphs shown in Figures A.1 and A.2.

The d value can be presented on either a linear or a logarithmic Y-axis. The calculation of the $\text{tg}\delta$ value is made in different ways for the two methods. Distinction shall be made when presenting the results as to which method has been used. The following graphs are only to be used to understand the methods and do not represent any specific requirements for materials.

A.3.2 Linear method

A tangent is drawn to the steepest part of the first ascent with rising temperature of the tangent delta versus temperature curve. A horizontal line is drawn through a point on the curve corresponding to a temperature to be agreed between customer and supplier. The temperature corresponding to the point where this line crosses the aforesaid tangent is determined. The value is presented as $\text{tg}\delta = \text{xxx } ^\circ\text{C (lin)}$.

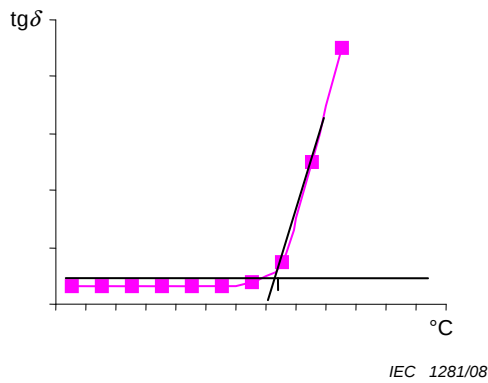


Figure A.1 – Example of linear method for sole coating

A.3.3 Logarithmic method

In the case of increasing temperature, two horizontal lines are drawn from the Y- axis at values agreed between customer and supplier. A line is drawn through the intersections of these points and the curve, and extended to cross a horizontal line through the minimum value on the curve.

The temperature corresponding to the latter crossing point is determined. The value is presented as $\text{tg}\delta = \text{xxx } ^{\circ}\text{C (log)}$.

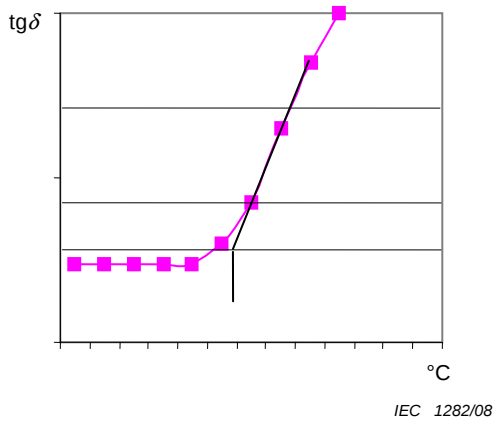


Figure A.2 – Example of logarithmic method for sole coating

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	36
INTRODUCTION.....	38
1 Domaine d'application	39
2 Références normatives	39
3 Essai 5: Résistance électrique.....	39
4 Essai 13: Tension de claquage	40
4.1 Principe.....	40
4.2 Equipement	40
4.3 Fil de section circulaire émaillé de diamètre nominal du conducteur jusqu'à 0,100 mm inclus	41
4.3.1 Du grade 1 au grade 3 avec un diamètre nominal du conducteur jusqu'à 0,100 mm inclus	41
4.3.2 Grade du FIW 3 au FIW 9 avec un diamètre nominal du conducteur jusqu'à 1,600 mm inclus	42
4.4 Fil de section circulaire émaillé de diamètre nominal du conducteur supérieur à 0,100 mm jusqu'à 2,500 mm inclus, du grade 1 au grade 3	43
4.4.1 Essai à température ambiante	43
4.4.2 Essai à température élevée	44
4.5 Fil de section circulaire avec diamètre nominal du conducteur supérieur à 2,500 mm	45
4.5.1 Essai à température ambiante	45
4.5.2 Essai à température élevée	47
4.6 Fil rond guipé de fibre	47
4.6.1 Essai à température ambiante	47
4.6.2 Essai à température élevée	49
4.7 Fil de section rectangulaire	49
4.7.1 Essai à température ambiante	49
4.7.2 Essai à température élevée	49
5 Essai 14: Continuité de l'isolant (applicable au fil de section circulaire émaillé et au fil de section circulaire rubané).....	50
5.1 Généralités.....	50
5.2 Continuité sous basse tension (diamètre nominal du conducteur jusqu'à et y compris 0,050 mm), du grade 1 au grade 3)	50
5.3 Continuité sous haute tension (diamètre nominal du conducteur supérieur à 0,050 mm jusqu'à et y compris 1,600 mm, du grade 1 au grade 3, et supérieur à 0,035 mm, jusqu'à et y compris 1,600 mm, du grade 3 de FIW 3 au FIW 9)	51
5.3.1 Principe	51
5.3.2 Equipement	51
5.3.3 Procédures.....	56
5.3.4 Résultats	57
5.4 Continuité haute tension en ligne (fils conformes avec le grade de FIW 3 au FIW 10 avec diamètre nominal du conducteur supérieur à 0,035 mm jusqu'à et y compris 1,600 mm)	57
5.4.1 Principe	57
5.4.2 Equipement	58
5.4.3 Procédure.....	58
5.4.4 Résultat.....	59

6	Essai 19: Facteur de dissipation diélectrique (applicable au fil émaillé et au fil toronné)	59
6.1	Principe.....	59
6.2	Équipement.....	60
6.3	Eprouvette.....	61
6.3.1	Eprouvette pour l'électrode constituée d'un bain métallique	61
6.3.2	Eprouvette pour l'électrode recouverte d'une suspension conductrice.....	61
6.4	Procédure	61
6.5	Résultats.....	61
7	Essai 23: Détection des microfissures en immersion	61

Annexe A (informative)	Méthodes de calcul du facteur de dissipation	63
------------------------	--	----

Figure 1	– Disposition comprenant le cylindre et l'éprouvette de fil pour l'essai de tension de claquage.....	42
Figure 2	– Appareil pour torsader l'éprouvette destinée à la mesure de la tension de claquage.....	44
Figure 3	– Eprouvette en forme de U pour essai de tension de claquage (l'éprouvette est placée dans la grenaille)	46
Figure 4	– Eprouvette en spirale pour essai de tension de claquage	48
Figure 5	– Appareil pour l'essai de continuité du revêtement sous basse tension	50
Figure 6	– Continuité haute tension en courant continu – Poulies pour diamètres de fil de 0,050 mm à 0,250 mm	52
Figure 7	– Dimensions des poulies à gorge et écartement pour diamètres de fil 0,250 mm à 1,600 mm	53
Figure 8a	– Ensemble électrode à balai unique en fibre de graphite.....	54
Figure 8b	– Ensemble électrode à deux balais en fibre de graphite.....	55
Figure 8	– Ensemble électrode à balai unique ou à deux balais en fibre de graphite	55
Figure 9	– Dispositions d'électrode convenant à l'essai de facteur de perte diélectrique	60
Figure A.1	– Exemple de la méthode linéaire pour revêtement unique	65
Figure A.2	– Exemple de la méthode logarithmique pour revêtement unique	65

Tableau 1	– Vitesse de l'augmentation de tension.....	40
Tableau 2	– Charges appliquées au fil	41
Tableau 3	– Charges et nombre de tours appliqués à la paire de fils (aux deux extrémités à la fois)	44
Tableau 4	– Courants de défaut de continuité sous haute tension hors ligne.....	52
Tableau 5	– Tensions d'essai.....	56
Tableau 5.1	– Tensions d'essai de continuité sous haute tension hors ligne pour les grades 1 – 3	56
Tableau 5.2	– Tensions d'essai de continuité sous haute tension hors ligne pour le grade FIW 3 – FIW 9.....	57
Tableau 6	– Courants de défaut de continuité sous haute tension en ligne.....	58
Tableau 7	– Tensions d'essai de continuité sous haute tension en ligne	59

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

FILS DE BOBINAGE – MÉTHODES D'ESSAI –

Partie 5: Propriétés électriques

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI 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, la CEI – 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 la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités techniques – tous les comités nationaux de la CEI qui sont intéressés par le sujet traité peuvent participer à ces travaux d'élaboration. Des organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales peuvent également participer à ces travaux en liaison avec la CEI. La CEI 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 la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI 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 la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toute divergence entre toute Publication de la CEI et toute publication nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI 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 la CEI. La CEI 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 la CEI, 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 la CEI, 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 la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, 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 la CEI peuvent faire l'objet de droits de brevet. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

Cette version consolidée de la CEI 60851-5 comprend la quatrième édition (2008) [documents 55/1069/FDIS et 55/1078/RVD] et son amendement 1 (2011) [documents 55/1223/FDIS et 55/1251/RVD]. Elle porte le numéro d'édition 4.1.

Le contenu technique de cette version consolidée est donc identique à celui de l'édition de base et à son amendement; cette version a été préparée par commodité pour l'utilisateur. Une ligne verticale dans la marge indique où la publication de base a été modifiée par l'amendement 1. Les ajouts et les suppressions apparaissent en rouge, les suppressions sont barrées.

La Norme internationale CEI 60851-5 a été établie par le comité d'études 55 de la CEI: Fils de bobinage.

Les modifications significatives par rapport à l'édition précédente comprennent les points suivants:

- au Paragraphe 5.3, l'ajout de l'utilisation des électrodes balais en carbone pour le comptage des discontinuités pendant l'essai de continuité sous haute tension, comme alternative à l'électrode poulie ayant une gorge en forme de "V";
- des clarifications apportées à l'essai de la tension de claquage pour les fils de section circulaire avec diamètre nominal du conducteur supérieur à 2,500 mm et pour les fils tressés de fibre.

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

Une liste de toutes les parties de la série CEI 60851, sous le titre général *Fils de bobinage – Méthodes d'essai*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

L'amendement 1 inclut

- dans l'Article 4 l'ajout des exigences relatives au claquage diélectrique pour les fils de bobinage de section circulaire en cuivre émaillé totalement isolés avec zéro défaut;
- dans l'Article 5 l'ajout des exigences relatives à la continuité pour les fils de bobinage de section circulaire en cuivre émaillé totalement isolés avec zéro défaut.

Le comité a décidé que le contenu de la publication de base et de ses amendements ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de la CEI 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.

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

INTRODUCTION

La présente partie de la CEI 60851 constitue un élément d'une série de normes traitant des fils isolés utilisés dans les enroulements des appareils électriques. La série comporte trois groupes définissant respectivement

- a) les fils de bobinage – Méthodes d'essai (CEI 60851);
- b) les spécifications pour types particuliers de fils de bobinage (CEI 60317);
- c) le conditionnement des fils de bobinage (CEI 60264).

FILS DE BOBINAGE – MÉTHODES D'ESSAI –

Partie 5: Propriétés électriques

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60851 spécifie les essais suivants:

- Essai 5: Résistance électrique;
- Essai 13: Tension de claquage;
- Essai 14: Continuité de l'isolant;
- Essai 19: Facteur de dissipation diélectrique;
- Essai 23: Détection des micro-fissures en immersion.

Pour les définitions, les généralités concernant les méthodes d'essai et les séries complètes des méthodes d'essai des fils de bobinage, voir la CEI 60851-1.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. 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).

CEI 60851-1, *Fils de bobinage – Méthodes d'essai – Partie 1: Généralités*

3 Essai 5: Résistance électrique

La résistance électrique est la résistance en courant continu à 20 °C de 1 m de fil.

La méthode utilisée doit avoir une précision de 0,5 %.

Pour les fils toronnés, une longueur pouvant atteindre 10 m doit être utilisée et les extrémités doivent être brasées avant de réaliser la mesure. Quand la mesure de la résistance est utilisée pour contrôler si un nombre excessif de brins est rompu, une longueur de 10 m de fil toronné doit être utilisée.

Si la résistance R_t est mesurée à une température t différente de 20 °C, la résistance R_{20} à 20 °C doit être calculée par la formule suivante:

$$R_{20} = \frac{R_t}{1 + \alpha(t - 20)}$$

où

t est la température réelle en degrés Celsius pendant la mesure;

α est le coefficient de température en K⁻¹.

Pour les températures allant de 15 °C à 25 °C, le coefficient de température à utiliser doit être le suivant:

- pour le cuivre: $\alpha_{20} = 3,96 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$;
- pour l'aluminium: $\alpha_{20} = 4,07 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.

Un essai doit être réalisé. La résistance électrique doit être notée.

4 Essai 13: Tension de claquage

4.1 Principe

La tension d'essai doit être une tension alternative de fréquence nominale 50 Hz ou 60 Hz. La tension d'essai doit être appliquée à partir de zéro et augmentée à une vitesse uniforme conforme au Tableau 1.

Tableau 1 – Vitesse de l'augmentation de tension

Tension de claquage V		Vitesse de l'augmentation V/s
Supérieure à	Jusqu'à et y compris	
–	500	20
500	2 500	100
2 500	–	500

4.2 Equipement

L'équipement suivant doit être utilisé:

- un transformateur d'essai d'une puissance nominale d'au moins 500 VA fournissant une tension alternative de forme sinusoïdale non déformée dans les conditions d'essai, avec un facteur de pointe compris dans les limites de $\sqrt{2} \pm 5 \%$ (1,34 à 1,48) et qui peut fournir un courant de 5 mA avec une chute de tension maximale de 2 %;
- un circuit pour la détection des défauts qui fonctionne pour un courant de 5 mA ou plus;
- un dispositif qui fait croître la tension d'essai à la vitesse constante spécifiée;
- une étuve à circulation d'air forcée;
- un cylindre métallique poli de $25 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ de diamètre monté à axe horizontal (voir Figure 1) relié électriquement à une borne de la source de la tension d'essai;
- un dispositif pour faire des torsades, conforme à la Figure 2; il permet de torsader deux longueurs de fil sur une distance de 125 mm;
- des bandes métalliques de 6 mm de large et du ruban adhésif par pression de 12 mm de large;
- un récipient contenant de la grenaille métallique d'acier inoxydable ou d'acier nickelé. Le diamètre de la grenaille ne doit pas être supérieur à 2 mm. La grenaille doit être nettoyée périodiquement à l'aide de moyens appropriés;
- mandrin métallique, $50 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ de diamètre;
- mandrin métallique, $25 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ de diamètre;
- mandrin métallique, $80 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ de diamètre.

4.3 Fil de section circulaire émaillé ~~de diamètre nominal du conducteur jusqu'à 0,100 mm inclus~~

4.3.1 Du grade 1 au grade 3 avec un diamètre nominal du conducteur jusqu'à 0,100 mm inclus

~~Une longueur droite de fil dont l'isolant a été retiré à une extrémité doit être reliée à la borne supérieure comme illustré à la Figure 1 et enroulée une fois autour du cylindre. Une charge comme spécifiée dans le Tableau 2 doit être appliquée à l'extrémité inférieure du fil pour maintenir l'éprouvette en contact serré avec le cylindre.~~

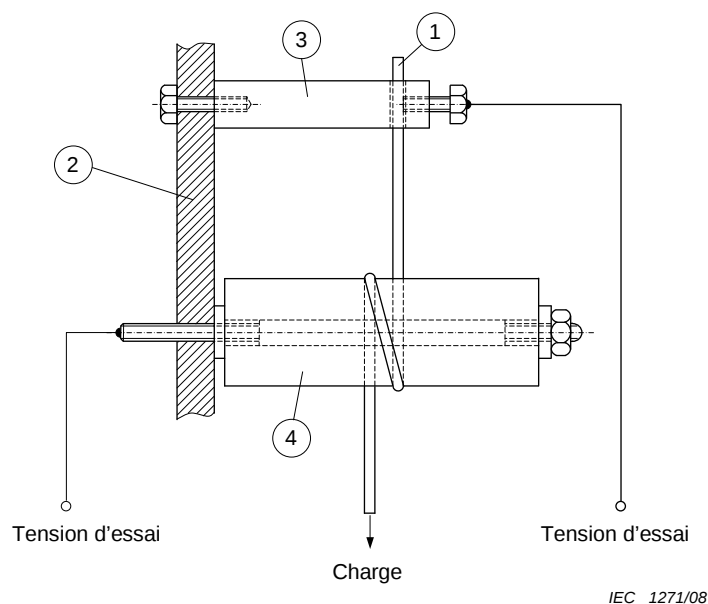
L'essai est réalisé sur un cylindre d'un diamètre de $25 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$. Une longueur droite de fil dont l'isolant a été retiré à une extrémité doit être connectée à la borne supérieure comme illustré à la Figure 1 et enroulée une fois autour du cylindre. Une charge comme spécifiée dans le Tableau 2.1 doit être appliquée à l'extrémité inférieure du fil pour maintenir l'éprouvette en contact serré avec le cylindre.

La tension d'essai conforme à 4.1 doit être appliquée entre le conducteur du fil et le cylindre. L'essai doit être effectué à température ambiante.

Cinq éprouvettes doivent être essayées. Les cinq valeurs individuelles doivent être notées.

Tableau 2.1 – Charges appliquées au fil

Diamètre nominal du conducteur mm		Charge N
Supérieur à	Jusqu'à et y compris	
–	0,018	0,013
0,018	0,020	0,015
0,020	0,022	0,020
0,022	0,025	0,025
0,025	0,028	0,030
0,028	0,032	0,040
0,032	0,036	0,050
0,036	0,040	0,060
0,040	0,045	0,080
0,045	0,050	0,100
0,050	0,056	0,120
0,056	0,063	0,150
0,063	0,071	0,200
0,071	0,080	0,250
0,080	0,090	0,300
0,090	0,100	0,400



- 1 éprouvette
- 2 matériau isolant
- 3 borne supérieure
- 4 cylindre

Figure 1 – Disposition comprenant le cylindre et l'éprouvette de fil pour l'essai de tension de claquage

4.3.2 Grade du FIW 3 au FIW 9 avec un diamètre nominal du conducteur jusqu'à 1,600 mm inclus

L'essai est réalisé sur un cylindre d'un diamètre tel que défini dans le Tableau 2.2.

Une longueur droite de fil dont l'isolant a été retiré à une extrémité doit être reliée à la borne supérieure comme montré à la Figure 1 et enroulée une fois autour du cylindre. Une charge comme spécifiée dans le Tableau 2.2 doit être appliquée à l'extrémité inférieure du fil pour maintenir l'éprouvette en contact serré avec le cylindre.

La tension d'essai conforme à 4.1 doit être appliquée entre le conducteur du fil et le cylindre. L'essai doit être effectué à température ambiante. Cinq éprouvettes doivent être essayées. Les cinq valeurs individuelles doivent être notées.

Tableau 2.2 – Charges et diamètres des cylindres d'essai appliqués au fil

Diamètre nominal mm	Diamètre nominal mm	Charge N	Diamètre du cylindre d'essai mm
Supérieur à	Jusqu'à et y compris		
-	0,040	0,080	25 ± 1
0,040	0,045	0,100	25 ± 1
0,045	0,050	0,130	25 ± 1
0,050	0,056	0,160	25 ± 1
0,056	0,063	0,200	25 ± 1
0,063	0,071	0,260	25 ± 1
0,071	0,080	0,330	25 ± 1
0,080	0,090	0,400	25 ± 1
0,090	0,100	0,500	25 ± 1
0,100	0,160	0,600	25 ± 1
0,160	0,250	0,850	25 ± 1
0,250	0,355	1,700	25 ± 1
0,355	0,500	3,400	25 ± 1
0,500	0,710	7,000	50 ± 2
0,710	1,060	13,500	50 ± 2
1,060	1,400	27,000	80 ± 3
1,400	1,600	54,000	80 ± 3

4.4 Fil de section circulaire émaillé de diamètre nominal du conducteur supérieur à 0,100 mm jusqu'à 2,500 mm inclus, **du grade 1 au grade 3**

4.4.1 Essai à température ambiante

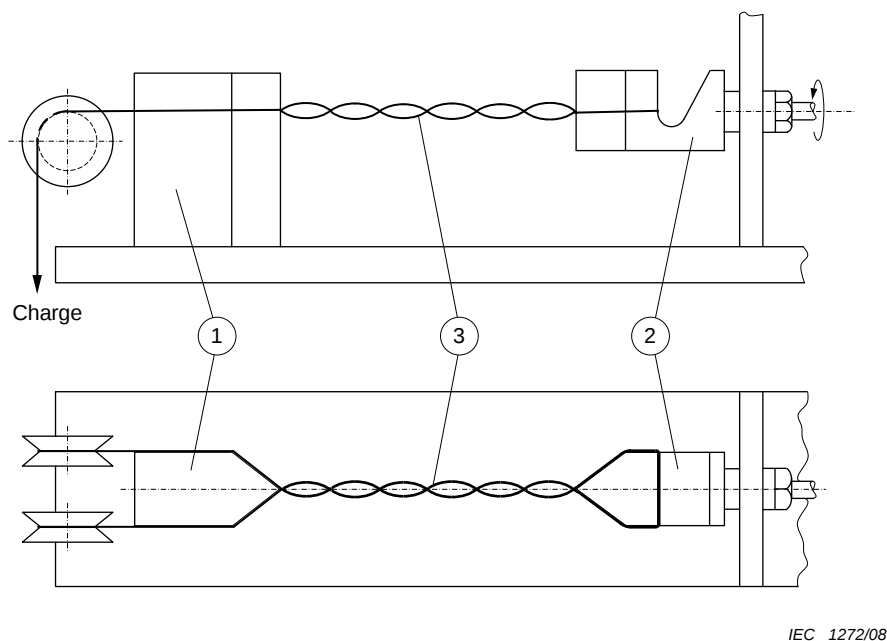
Une longueur droite de fil de 400 mm environ, dont l'isolant a été retiré aux deux extrémités, doit être torsadée sur elle-même sur une distance de (125 ± 5) mm en utilisant le dispositif décrit à la Figure 2. La charge et le nombre de tours appliqués à la torsade (aux deux extrémités à la fois) sont donnés dans le Tableau 3. La boucle située à l'extrémité de la partie torsadée doit être coupée en deux points de façon à fournir la distance maximale entre les extrémités coupées. On doit éviter une courbure aiguë des fils ou d'endommager le revêtement pour assurer une distance saine suffisante entre les deux extrémités.

La tension d'essai conforme à 4.1 doit être appliquée entre les conducteurs des fils.

Cinq éprouvettes doivent être essayées. Les cinq valeurs individuelles doivent être notées.

**Tableau 3 – Charges et nombre de tours appliqués à la paire de fils
(aux deux extrémités à la fois)**

Diamètre nominal du conducteur mm		Charge N	Nombre de tours de la torsade
Supérieur à	Jusqu'à et y compris		
0,100	0,250	0,85	33
0,250	0,355	1,70	23
0,355	0,500	3,40	16
0,500	0,710	7,00	12
0,710	1,060	13,50	8
1,060	1,400	27,00	6
1,400	2,000	54,00	4
2,000	2,500	108,00	3



- 1 séparateur fixe
- 2 support tournant
- 3 éprouvette

**Figure 2 – Appareil pour torsader l'éprouvette destinée
à la mesure de la tension de claquage**

4.4.2 Essai à température élevée

Une éprouvette préparée conformément à 4.4.1 doit être placée dans une étuve préalablement chauffée à la température d'essai spécifiée ± 3 °C. La tension d'essai doit être appliquée selon 4.1 entre les conducteurs des deux fils au moins 15 min après introduction de l'éprouvette dans l'étuve. L'essai ne doit pas durer plus de 30 min.

Cinq éprouvettes doivent être essayées. Les cinq valeurs individuelles doivent être notées.

4.5 Fil de section circulaire avec diamètre nominal du conducteur supérieur à 2,500 mm

4.5.1 Essai à température ambiante

Une longueur droite de fil de longueur suffisante, dont on a retiré l'isolant à une extrémité, est recourbée sur un mandrin, comme indiqué à la Figure 3.

Le diamètre du mandrin doit être de 50 mm $\pm$ 2 mm.

L'éprouvette doit être placée dans le récipient et doit être entourée par de la grenaille. La distance entre l'éprouvette et les parois internes du récipient doit être d'au moins 5 mm. Les extrémités de l'éprouvette doivent être assez longues pour éviter les contournements.

Le récipient doit être rempli doucement de grenaille jusqu'à ce que l'éprouvette soit recouverte par la grenaille sur une profondeur de 90 mm. La grenaille métallique ne doit pas avoir plus de 2 mm de diamètre; des billes en acier inoxydable, en nickel ou en acier-nickelé conviennent. La grenaille doit être nettoyée périodiquement avec un solvant adapté (par exemple le 1,1,1-trichloroéthane).

La tension d'essai est appliquée entre la grenaille et le conducteur conformément aux exigences de 4.1.

NOTE Après accord entre acheteur et fournisseur, l'essai peut être réalisé en plaçant l'éprouvette dans l'huile. Il convient que l'huile soit conforme à la CEI 60296 ou selon l'accord entre client et fournisseur.

Cinq éprouvettes doivent être essayées. Les cinq valeurs individuelles doivent être notées.

Dimensions en millimètres

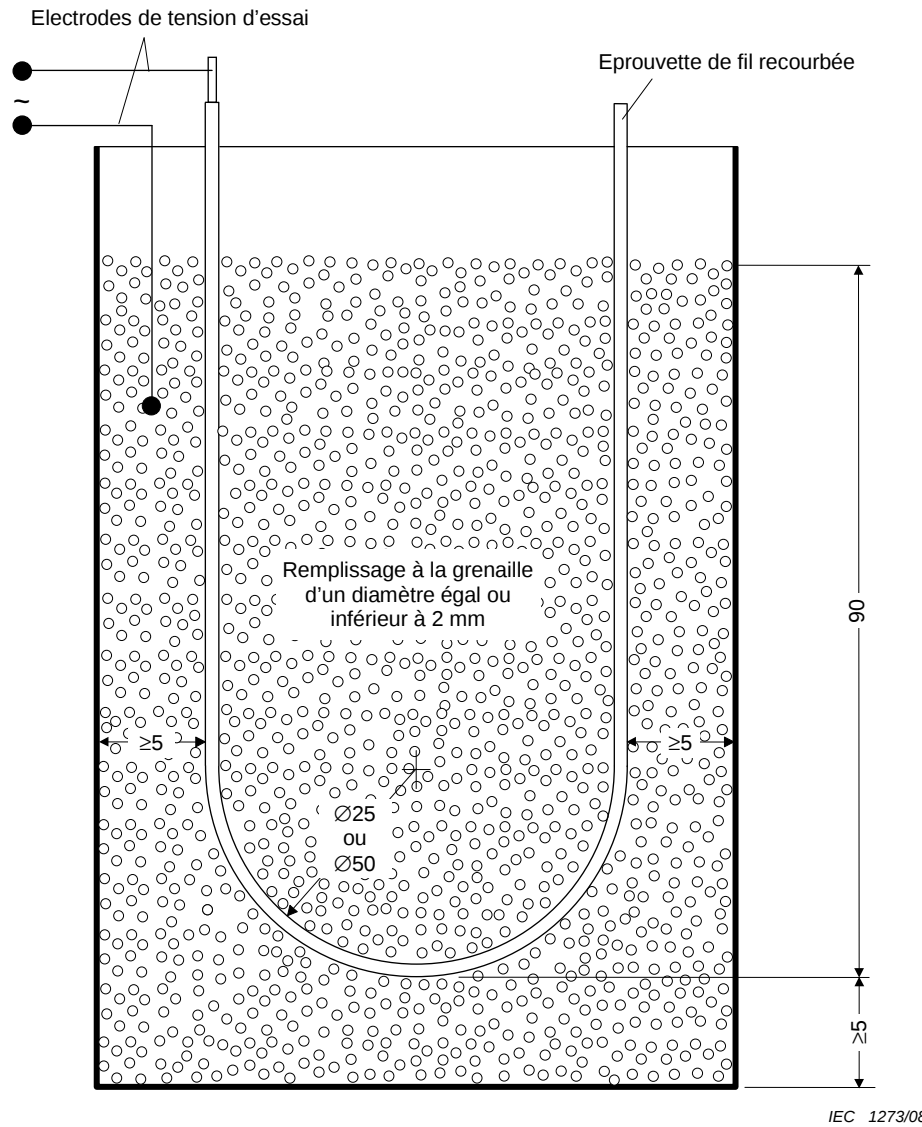


Figure 3 – Epreuve en forme de U pour essai de tension de claquage
(l'épreuve est placée dans la grenaille)

4.5.2 Essai à température élevée

Une éprouvette préparée conformément à 4.5.1 doit être placée dans une étuve qui a été préalablement chauffée à la température d'essai spécifiée ± 3 °C. La grenaille et le récipient doivent être préalablement chauffés dans l'étuve à la température d'essai et maintenus dans l'étuve pendant la mise en place de l'éprouvette. La mise en place de l'éprouvette doit être réalisée très doucement pour éviter tout dommage.

La tension d'essai conforme à 4.1 doit être appliquée entre le conducteur et la grenaille au moins 15 min après introduction de l'éprouvette dans l'étuve. L'essai ne doit pas durer plus de 30 min.

La température doit être maintenue à ± 3 °C.

Cinq éprouvettes doivent être essayées. Les cinq valeurs individuelles doivent être notées.

4.6 Fil rond guipé de fibre

4.6.1 Essai à température ambiante

Une longueur droite de fil de longueur suffisante, dont on a retiré l'isolant à une extrémité, doit être enroulée de 10 tours sur un mandrin comme montré dans la Figure 4. Le diamètre du mandrin doit être de

- 25 mm $\pm$ 1 mm pour les diamètres nominaux jusqu'à et y compris 2,500 mm;
- 50 mm $\pm$ 2 mm pour les diamètres nominaux supérieurs à 2,500 mm.

L'éprouvette doit être placée dans le récipient tel que montré dans la Figure 4 et doit être entourée par de la grenaille. La distance entre l'éprouvette et les parois internes du récipient doit être d'au moins 5 mm. La distance minimale entre deux enroulements adjacents doit être d'au moins 2,5 mm. Les extrémités de l'éprouvette doivent être suffisamment longues pour éviter des contournements électriques.

Le récipient doit être rempli doucement de grenaille jusqu'à ce que l'éprouvette soit recouverte par la grenaille sur une profondeur de 90 mm. La grenaille métallique ne doit pas avoir plus de 2 mm de diamètre; des billes en acier inoxydable, en nickel ou en acier-nickelé conviennent. La grenaille doit être nettoyée une fois par an.

La tension d'essai conforme à 4.1 doit être appliquée entre le conducteur du fil et la grenaille.

NOTE Après accord entre acheteur et fournisseur, l'essai peut être réalisé en plaçant l'éprouvette dans l'huile. Il convient que l'huile soit conforme à la CEI 60296 ou selon l'accord entre client et fournisseur.

Cinq éprouvettes doivent être essayées. Les cinq valeurs individuelles doivent être notées.

Dimensions en millimètres

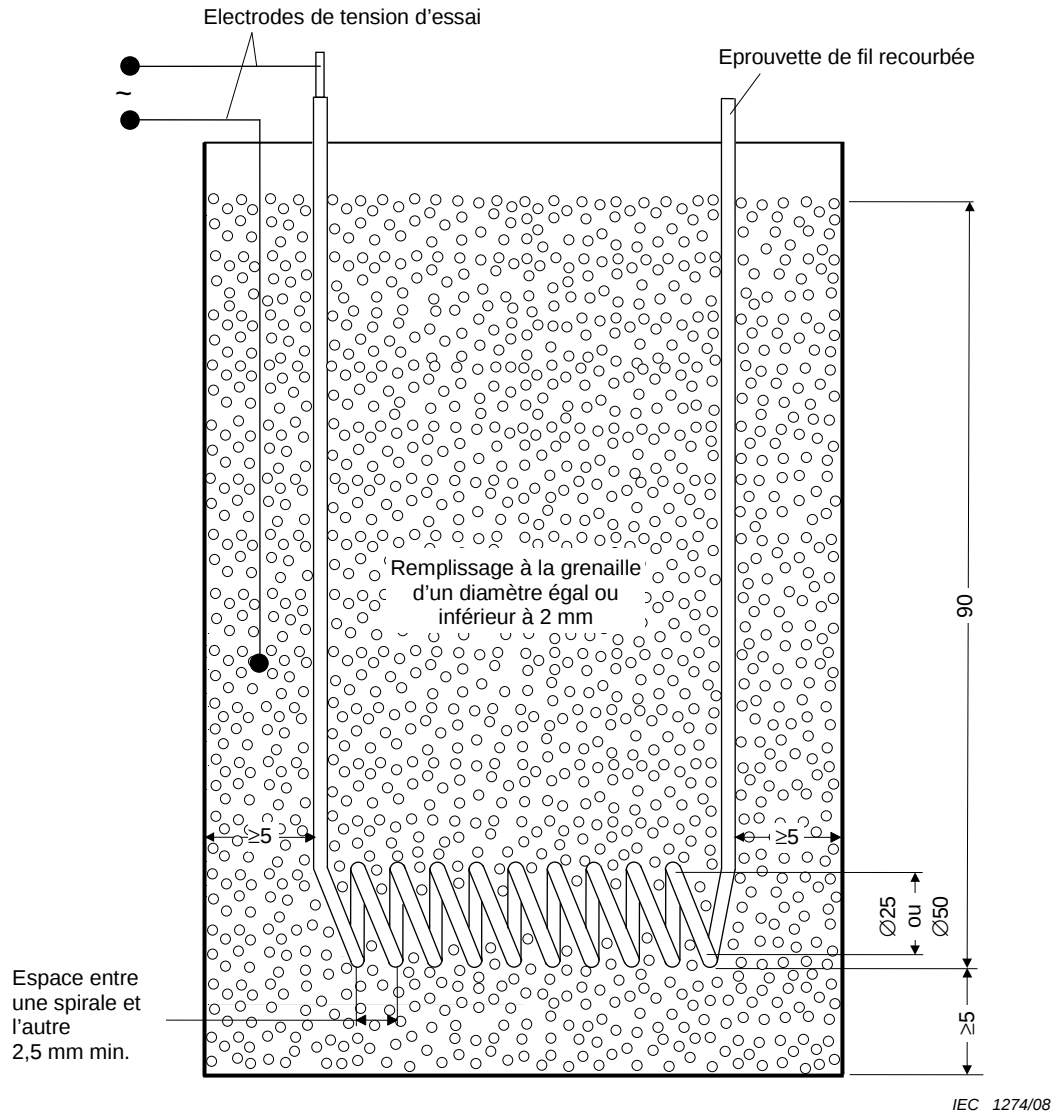


Figure 4 – Eprouvette en spirale pour essai de tension de claquage

4.6.2 Essai à température élevée

Une éprouvette préparée conformément à 4.6.1 doit être placée dans une étuve préalablement chauffée à la température d'essai spécifiée ± 3 °C. La grenaille et le récipient doivent être préalablement chauffés dans l'étuve à la température d'essai et maintenus dans l'étuve pendant la mise en place de l'éprouvette. La mise en place de l'éprouvette doit être réalisée très doucement pour éviter tout dommage. La tension d'essai conforme à 4.1 doit être appliquée entre le conducteur et la grenaille au moins 15 min après introduction de l'éprouvette dans l'étuve. L'essai ne doit pas durer plus de 30 min.

La température doit être maintenue à ± 3 °C.

Cinq éprouvettes doivent être essayées. Les cinq valeurs individuelles doivent être notées.

4.7 Fil de section rectangulaire

4.7.1 Essai à température ambiante

Une longueur droite de fil de 350 mm environ dont on a retiré l'isolant à une extrémité doit être courbée sur plat autour d'un mandrin comme il est montré à la Figure 3. Le diamètre du mandrin doit être de

- 25 mm $\pm$ 1 mm pour les épaisseurs nominales jusqu'à et y compris 2,500 mm;
- 50 mm $\pm$ 2 mm pour les épaisseurs nominales supérieures à 2,500 mm.

L'éprouvette doit être placée dans le récipient et doit être entourée par de la grenaille. La distance entre l'éprouvette et les parois internes du récipient doit être d'au moins 5 mm. Les extrémités de l'éprouvette doivent être suffisamment longues pour éviter des contournements électriques.

Le récipient est rempli doucement de grenaille jusqu'à ce que l'éprouvette soit recouverte par la grenaille sur une profondeur de 90 mm. La grenaille métallique ne doit pas avoir plus de 2 mm de diamètre; des billes en acier inoxydable, en nickel ou en acier nickelé conviennent. La grenaille doit être nettoyée périodiquement.

La tension d'essai conforme à 4.1 doit être appliquée entre le conducteur du fil et la grenaille.

NOTE Après accord entre client et fournisseur, l'essai peut être réalisé avec l'éprouvette recouverte d'huile. Il convient que l'huile soit conforme à la CEI 60296 ou selon l'accord entre client et fournisseur.

Cinq éprouvettes doivent être essayées. Les cinq valeurs individuelles doivent être notées.

4.7.2 Essai à température élevée

Une éprouvette préparée conformément à 4.7.1 doit être placée dans une étuve préalablement chauffée à la température d'essai spécifiée ± 3 °C. La grenaille et le récipient doivent être préalablement chauffés dans l'étuve à la température d'essai et maintenus dans l'étuve pendant la mise en place de l'éprouvette. La mise en place de l'éprouvette doit être réalisée très doucement pour éviter tout dommage. La tension d'essai conforme à 4.1 doit être appliquée entre le conducteur et la grenaille au moins 15 min après introduction de l'éprouvette dans l'étuve. L'essai ne doit pas durer plus de 30 min.

La température doit être maintenue à ± 3 °C.

Cinq éprouvettes doivent être essayées. Les cinq valeurs individuelles doivent être notées.

5 Essai 14: Continuité de l'isolant (applicable au fil de section circulaire émaillé et au fil de section circulaire rubané)

5.1 Généralités

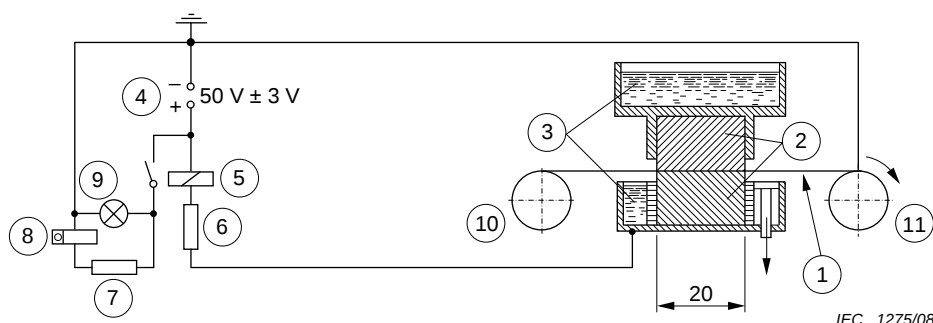
La continuité de l'isolant est exprimée par le nombre de défauts qui est détecté par un circuit de contrôle électrique sur une longueur de fil.

5.2 Continuité sous basse tension (diamètre nominal du conducteur jusqu'à et y compris 0,050 mm, du grade 1 au grade 3)

Une éprouvette de fil de longueur (30 ± 1) m doit être tirée à la vitesse de (275 ± 25) mm/s entre deux tampons de feutre qui doivent être immergés dans une solution électrolytique de sulfate de sodium dans l'eau (30 g/l). Le conducteur du fil et la solution électrolytique sont reliés à un circuit électrique en courant continu de (50 ± 3) V en circuit ouvert (voir Figure 5). La force appliquée au fil ne doit pas être supérieure à 0,03 N. Les défauts doivent être détectés à l'aide d'un relais approprié associé à un compteur. Le compteur doit fonctionner quand le revêtement du fil a une résistance inférieure à $10 \text{ k}\Omega$ pendant au moins 0,04 s. Le compteur ne doit pas fonctionner quand la résistance est égale à $15 \text{ k}\Omega$ ou plus. Un circuit de détection de défauts doit fonctionner pour un temps de réponse de (5 ± 1) ms avec un compteur qui donne (500 ± 25) impulsions par minute quand un fil nu est contrôlé.

Un essai doit être réalisé. Le nombre de défauts pour une longueur de 30 m de fil doit être noté.

Dimensions en millimètres



- | | |
|--|---|
| 1 fil | 7 résistance 50 kΩ |
| 2 tampon de feutre | 8 compteur |
| 3 électrolyte (30 g Na_2SO_4 /l d'eau) | 9 lampe témoin |
| 4 alimentation en courant continu | 10 fil de bobinage sur sa bobine de livraison |
| 5 relais | 11 tambour d'enroulement |
| 6 résistance 50 kΩ | |

Figure 5 – Appareil pour l'essai de continuité du revêtement sous basse tension

5.3 Continuité sous haute tension (diamètre nominal du conducteur supérieur à 0,050 mm jusqu'à et y compris 1,600 mm, du grade 1 au grade 3, et supérieur à 0,035 mm, jusqu'à et y compris 1,600 mm, du grade 3 de FIW 3 au FIW 9)

5.3.1 Principe

Une longueur de fil dont le conducteur est relié à la terre est tirée sur une électrode ayant une gorge en forme de "V" (poulie) ou à travers une électrode balais de graphite à vitesse constante. Une tension d'essai en courant continu est appliquée entre l'électrode et la terre. Les défauts de l'isolant du fil sont détectés et enregistrés par un compteur. Le résultat est le nombre de défauts pour 30 m.

5.3.2 Equipement

L'équipement suivant doit être utilisé:

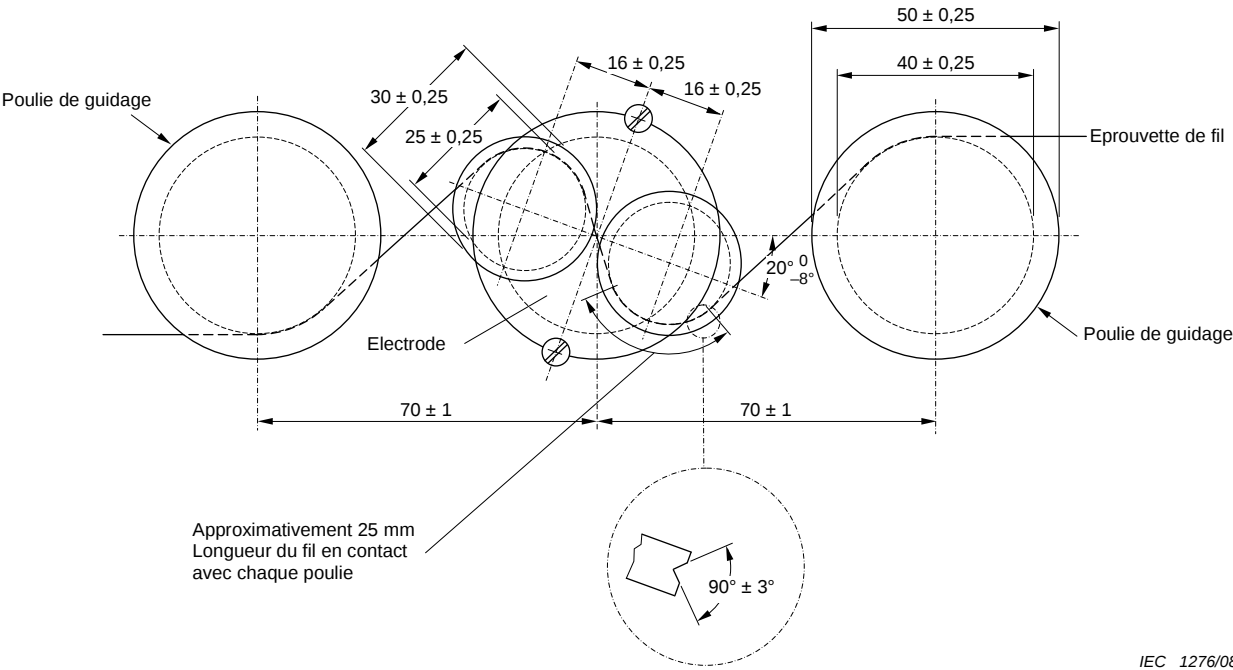
- ~~— une alimentation haute tension fournissant une tension continue à filtrage lissé, avec une ondulation inférieure à 5 %, dont la tension est réglable entre 350 V et 2 000 V en circuit ouvert. Le courant de court-circuit, limité par des résistances internes en série, est de $(25 \pm 5) \mu\text{A}$ quelle que soit la tension, et la chute de tension ne doit pas être supérieure à 75 % pour un défaut de résistance de 50 M Ω ;~~
- une alimentation haute tension fournissant une tension continue à filtrage lissé, avec une ondulation inférieure à 5 %, dont la tension est réglable entre 350 V et 3000 V en circuit ouvert. Le courant de court-circuit est limité par des résistances internes en série à $25 \mu\text{A} \pm 5 \mu\text{A}$ quelle que soit la tension d'essai, et la chute de tension ne doit pas être supérieure à 75 % pour un défaut de résistance de 50 M Ω ;
- un circuit de détection de défauts, qui fonctionne à un courant de défaut tel que donné au Tableau 4 avec un temps de réponse de (5 ± 1) ms et un compteur qui donne (500 ± 25) impulsions par minute quand un fil nu est contrôlé;
- un système de deux poulies électrode haute tension en acier inoxydable conformément à la Figure 6, qui donne une longueur de contact d'approximativement 25 mm sur chaque poulie;
- une poulie électrode haute tension en acier inoxydable conforme à la Figure 7, qui donne une longueur de contact de 25 mm à 30 mm;
- un ensemble d'électrodes balais en fibre de graphite conforme à la Figure 8, fabriqué de manière à ce que les balais conducteurs entourent complètement et viennent en contact avec la surface du fil sur une longueur de $(25 \pm 2,5)$ mm (voir Figure 6). L'électrode balais en fibre de graphite doit être examinée, nettoyée, ou remplacée lorsque l'usure est excessive ou l'accumulation de corps étrangers est présente. L'ensemble d'électrodes balais de graphite doit être isolé électriquement pendant la durée de l'essai pour éviter des lectures erronées aux tensions spécifiées;
- des poulies de guidage reliées à la terre, ayant un diamètre extérieur de $(50 \pm 0,25)$ mm et un diamètre à fond de gorge de $(40 \pm 0,25)$ mm. La distance de séparation entre poulies est de (140 ± 2) mm;
- une résistance d'amortissement de $4,7 \text{ M}\Omega \pm 10 \%$ placée dans le circuit haute tension.

NOTE Pour l'électrode haute tension, il convient que l'isolant avec la terre soit un matériau de résistivité élevée, non hygroscopique, ne conduisant pas le courant en surface, facile à nettoyer et permettant de maintenir une tension continue de 3 000 V. Il convient de n'utiliser aucune protection sur le câble d'alimentation haute tension parce qu'une capacité minimale avec la terre est exigée au moment du défaut et du comptage. Il convient que le moteur qui assure le tirage du fil soit du type «sans balais» et possède une puissance suffisante pour maintenir la vitesse requise pour un fil de 1,600 mm.

Tableau 4 – Courants de défaut **de continuité sous haute tension hors ligne**

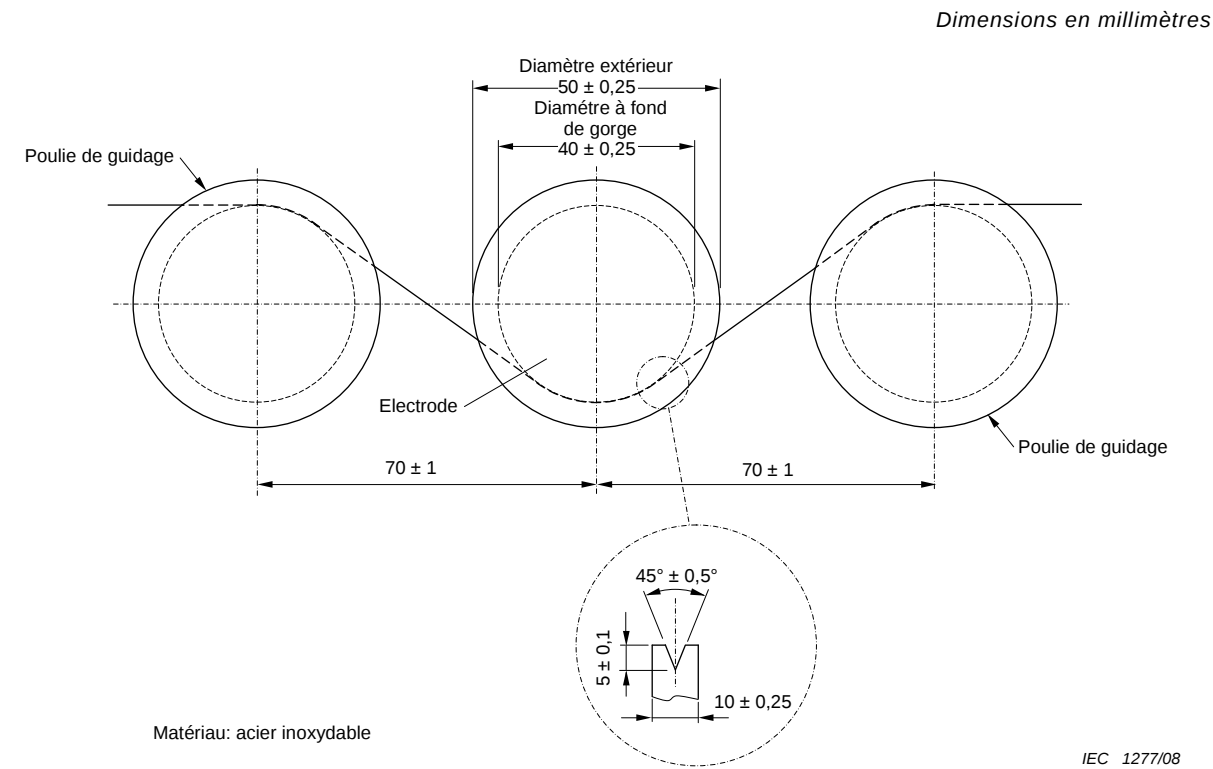
Tension d'essai à courant continu V	Courant de défaut μA
2 000	12
1 500	10
1 000	8
750	7
500	6
350	5
3 000	16
2 500	14
2 000	12
1 500	10
1 000	8
750	7
500	6
350	5

Dimensions en millimètres



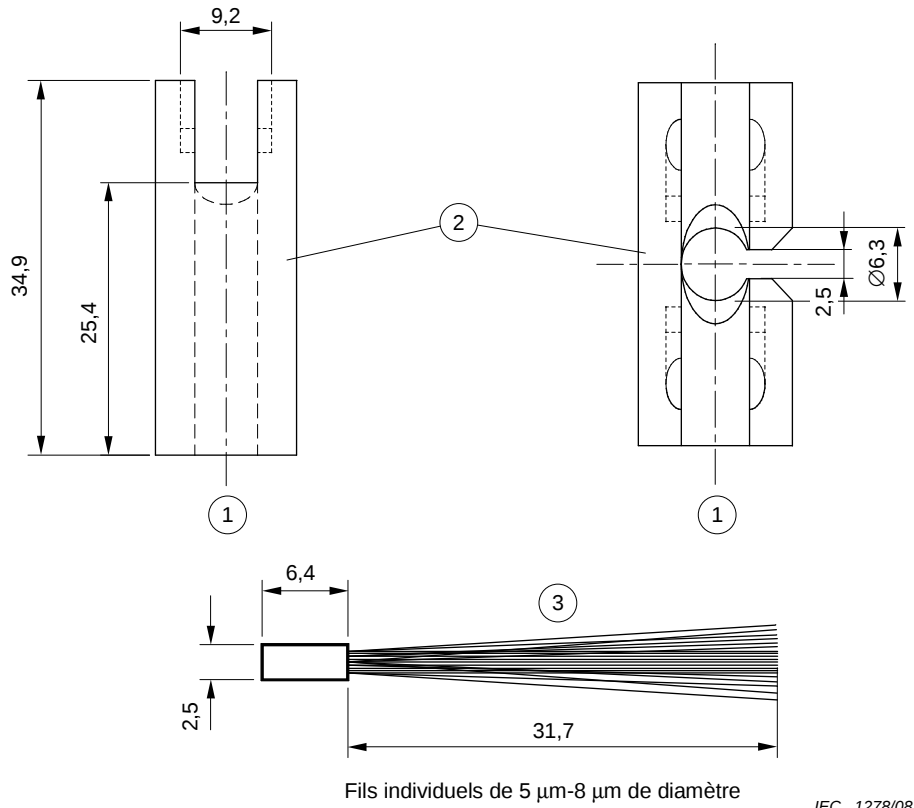
IEC 1276/08

Figure 6 – Continuité haute tension en courant continu –
Poulies pour diamètres de fil de 0,050 mm à 0,250 mm



**Figure 7 – Dimensions des poulies à gorge et écartement
pour diamètres de fil 0,250 mm à 1,600 mm**

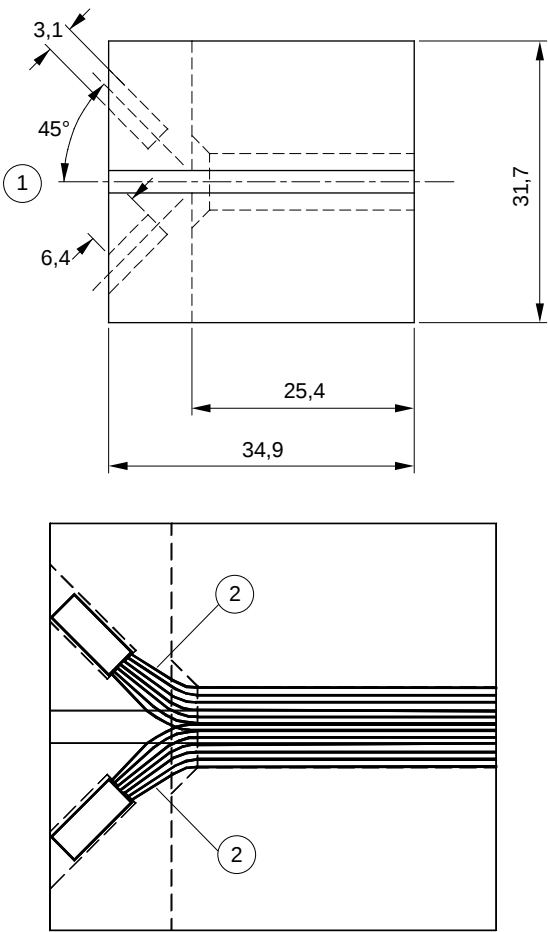
Dimensions en millimètres, tolérance de $\pm 1\%$



- 1 trajet du fil
- 2 bloc de montage du balai
- 3 balai unique en graphite

Figure 8a – Ensemble électrode à balai unique en fibre de graphite

Dimensions en millimètres, tolérance de $\pm 1\%$



Fils individuels de 5 μm -8 μm de diamètre

IEC 1279/08

- 1 trajet du fil
- 2 deux balais en graphite

Figure 8b – Ensemble électrode à deux balais en fibre de graphite

Figure 8 – Ensemble électrode à balai unique ou à deux balais en fibre de graphite

5.3.3 Procédures

Une longueur de fil de $30\text{ m} \pm 1\text{ m}$ doit être tirée à la vitesse de $(275 \pm 25)\text{ mm/s}$ sur la poulie électrode haute tension ou à travers l'électrode balais de graphite montée entre les poulies de guidage reliées à la terre. Le conducteur du fil et l'électrode sont reliés au circuit électrique dont la tension d'essai continue en circuit ouvert est réglée conformément au Tableau 5 avec une tolérance de $\pm 5\%$. Le conducteur du fil relié à la terre possède la polarité positive.

Une longueur de fil de $30\text{ m} \pm 1\text{ m}$ doit être tirée à la vitesse de $(275 \pm 25)\text{ mm/s}$ sur la poulie électrode haute tension ou à travers l'électrode balais en graphite montée entre les poulies de guidage reliées à la terre avec le conducteur du fil et l'électrode reliée au circuit électrique dont la tension d'essai continue en circuit ouvert est réglée conformément au Tableau 5.1 ou au Tableau 5.2, selon le cas, avec une tolérance de $\pm 5\%$. Le conducteur du fil relié à la terre possède la polarité positive.

Tableau 5 – Tensions d'essai

Type de conducteur	Diamètre nominal du conducteur mm		Tension (courant continu) V		
	Supérieur à	Jusqu'à et y compris	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Cuivre	0,050	0,125	—350	—500	—750
	0,125	0,250	—500	—750	—1 000
	0,250	0,500	—750	—1 000	—1 500
	0,500	1,600	—1 000	—1 500	—2 000
Aluminium	0,400	1,600	—500	—1 500	—

Tableau 5.1 – Tensions d'essai de continuité sous haute tension hors ligne pour les grades 1 – 3

Type de conducteur	Diamètre nominal du conducteur mm		Tension (courant continu) V		
	Supérieur à	Jusqu'à et y compris	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Cuivre	0,050	0,125	350	500	750
	0,125	0,250	500	750	1000
	0,250	0,500	750	1000	1500
	0,500	1,600	1000	1500	2000
Aluminium	0,400	1,600	500	1500	

**Tableau 5.2 – Tensions d'essai de continuité sous haute tension
hors ligne pour le grade FIW 3 – FIW 9**

Type de conducteur	Diamètre nominal du conducteur mm		Tension d'essai (à courant continu)								
	Supé- rieur à	Jusqu'à et y compris	Grade du FIW 3	Grade du FIW 4	Grade du FIW 5	Grade du FIW 6	Grade du FIW 7	Grade du FIW 8	Grade du FIW 9		
Cuivre	0,035	0,050	750	750	1000	2000	2000	2000	2000	—	
	0,050	0,053	750	750	1000	2000	2000	2000	2000	—	
	0,053	0,063	750	750	1000	2000	2000	2000	3000	—	
	0,063	0,085	750	1000	2000	2000	2000	2000	3000	3000	
	0,085	0,095	750	1000	2000	2000	2000	3000	3000	3000	
	0,095	0,118	750	1000	2000	2000	2000	3000	3000	3000	
	0,118	0,125	1000	2000	2000	3000	3000	3000	3000	3000	
	0,125	0,170	1000	2000	2000	3000	3000	3000	3000	3000	
	0,170	0,190	1000	2000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	
	0,190	0,250	2000	2000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	
	0,250	0,300	2000	2000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	
	0,300	0,375	2000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	
	0,375	0,425	2000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	—	
	0,425	0,500	2000	3000	3000	3000	3000	3000	—	—	
	0,500	0,600	2000	3000	3000	3000	3000	3000	—	—	
	0,600	0,750	3000	3000	3000	3000	3000	3000	—	—	
	0,750	1,060	3000	3000	3000	3000	3000	—	—	—	
	1,060	1,600	3000	3000	3000	—	—	—	—	—	
Aluminium	0,400	1,600	—	—	—	—	—	—	—	—	

5.3.4 Résultats

Un essai doit être réalisé. Le nombre de défauts pour une longueur de 30 m de fil doit être noté.

5.4 Continuité haute tension en ligne (fils conformes avec le grade de FIW 3 au FIW 10 avec diamètre nominal du conducteur supérieur à 0,035 mm jusqu'à et y compris 1,600 mm)

5.4.1 Principe

Durant le processus d'émaillage et juste avant que le fil ne soit positionné sur le tambour de transmission, la bobine ou l'enrouleur, il est mis sur une électrode ayant une gorge en forme de "V" (poulie) ou à travers une électrode balais en graphite. Une tension d'essai en courant continu est appliquée entre l'électrode et la terre. Le fil conducteur est en permanence relié à la terre (masse). La longueur de fil et le nombre de défauts de l'isolation sont enregistrés par un dispositif de comptage.

5.4.2 Equipement

L'équipement suivant doit être utilisé:

- une alimentation haute tension fournissant une tension continue à filtrage lissé, avec une ondulation inférieure à 5 %, dont la tension est réglable entre 350 V et 3000 V en circuit ouvert. Le courant de court-circuit est limité par des résistances internes en série à $25 \mu\text{A} \pm 5 \mu\text{A}$ quelle que soit la tension d'essai, et la chute de tension ne doit pas être supérieure à 75 % pour un défaut de résistance de $50 \text{ M}\Omega$;
- un circuit pour la détection des défauts qui fonctionne pour un courant de défaut comme montré dans le Tableau 6 avec un temps de réponse $\leq 1,5 \text{ ms}$;
- une poulie électrode, un balai graphite, ou toute autre configuration de contacts constituée de matériau conducteur et fournissant une longueur de contact, donnant un temps de contact d'au moins 2,25 ms (par exemple, $\geq 25 \text{ mm}$ à une vitesse de chemin de câbles $\leq 667 \text{ m/min}$).
- une résistance d'amortissement de $4,7 \text{ M}\Omega \pm 10 \%$ placée dans le circuit haute tension.

NOTE Pour l'électrode haute tension, il convient que l'isolant avec la terre soit un matériau de résistivité élevée, non hygroscopique, ne conduisant pas le courant en surface, facile à nettoyer et permettant de maintenir une tension continue de 3 000 V. Il convient de n'utiliser aucune protection sur le câble d'alimentation haute tension parce qu'une capacité minimale avec la terre est exigée au moment du défaut et du comptage.

5.4.3 Procédure

Le fil émaillé doit être tiré en continu à la vitesse de production de la machine émaillage sur une poulie électrode à haute tension, une électrode balais graphite ou une autre configuration d'électrode située avant le tambour de transmission, la bobine ou l'enrouleur, avec le conducteur du fil et l'électrode reliés au circuit électrique, dont la tension d'essai continue en circuit ouvert est réglée conformément au Tableau 7 avec une tolérance de $\pm 5\%$. Le conducteur du fil relié à la terre (masse) possède la polarité positive.

Tableau 6 – Courants de défaut de continuité sous haute tension en ligne

Tension d'essai à courant continu V	Courant de défaut μA
3 000	18
2 000	14
1 000	10
750	9

Tableau 7 – Tensions d'essai de continuité sous haute tension en ligne

Type de conducteur	Diamètre nominal du conducteur mm		Tension d'essai (à courant continu)							
	Supérieur à	Jusqu'à et y compris	Grade du FIW 3	Grade du FIW 4	Grade du FIW 5	Grade du FIW 6	Grade du FIW 7	Grade du FIW 8	Grade du FIW 9	
Cuivre	0,035	0,050	750	750	1000	2000	2000	2000	3000	
	0,050	0,053	750	750	1000	2000	2000	2000	3000	
	0,053	0,063	750	750	1000	2000	2000	3000	3000	
	0,063	0,085	750	1000	2000	2000	2000	3000	3000	
	0,085	0,095	750	1000	2000	2000	3000	3000	3000	
	0,095	0,118	750	1000	2000	2000	3000	3000	3000	
	0,118	0,125	1000	2000	2000	3000	3000	3000	3000	
	0,125	0,170	1000	2000	2000	3000	3000	3000	3000	
	0,170	0,190	1000	2000	3000	3000	3000	3000	3000	
	0,190	0,250	2000	2000	3000	3000	3000	3000	3000	
	0,250	0,300	2000	2000	3000	3000	3000	3000	3000	
	0,300	0,375	2000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	
	0,375	0,425	2000	3000	3000	3000	3000	3000	—	
	0,425	0,500	2000	3000	3000	3000	3000	—	—	
	0,500	0,600	2000	3000	3000	3000	3000	—	—	
	0,600	0,750	3000	3000	3000	3000	3000	—	—	
	0,750	1,060	3000	3000	3000	3000	—	—	—	
	1,060	1,600	3000	3000	3000	—	—	—	—	
Aluminium	0,400	1,600	—	—	—	—	—	—	—	

5.4.4 Résultat

La longueur parcourue et le nombre de défauts pour le fil continu enroulé sur les tambours de transmission, les bobines ou les enrouleurs doivent être enregistrés.

6 Essai 19: Facteur de dissipation diélectrique (applicable au fil émaillé et au fil toronné)

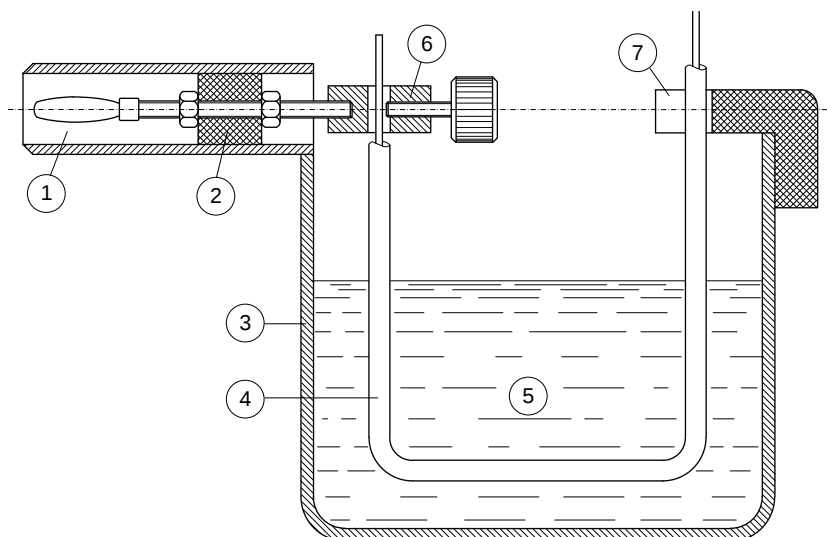
6.1 Principe

Une longueur de fil est considérée comme un condensateur dont l'isolant est le diélectrique, dont le conducteur est une électrode et dont un milieu conducteur est la seconde électrode. Ce condensateur est relié à un circuit qui fonctionne à la fréquence requise et qui permet de mesurer la capacité et la résistance des composants qui permettent de calculer le facteur de pertes diélectriques.

6.2 Equipement

L'équipement suivant doit être utilisé:

- un appareil de mesure de l'impédance qui doit fonctionner à la fréquence spécifiée dans la norme concernée. Il doit posséder une précision de ± 1 % basé sur la capacité pour la gamme de capacité demandée par l'éprouvette à cette fréquence;
- un générateur de fréquence qui doit avoir une tension de sortie sinusoïdale à la fréquence spécifiée dans la norme appropriée;
- méthode d'essai A:
 - bain métallique conforme à la Figure 9 qui doit contenir un métal liquide approprié (alliage) et qui doit être équipé d'un système de chauffage qui régule la température à ± 1 °C;
- méthode d'essai B:
 - deux blocs métalliques qui doivent être équipés d'un système de chauffage qui régule la température à ± 1 °C;
 - suspension conductrice.



IEC 1280/08

- | | |
|------------------------|------------------|
| 1 fiche | 5 électrode |
| 2 matériau isolant | 6 borne |
| 3 conteneur métallique | 7 attache isolée |
| 4 éprouvette | |

Figure 9 – Dispositions d'électrode convenant à l'essai de facteur de perte diélectrique

6.3 Epreuve

6.3.1 Epreuve pour l'électrode constituée d'un bain métallique

Une longueur de fil droit doit être courbée en forme de U et abaissée dans le bain métallique conformément à la Figure 9.

6.3.2 Epreuve pour l'électrode recouverte d'une suspension conductrice

6.3.2.1 Fil de section circulaire émaillé de diamètre nominal du conducteur jusqu'à 0,100 mm inclus

Une longueur droite de fil de (100 ± 5) mm doit être enroulée autour d'un fil de cuivre nu de diamètre 1 mm à 2 mm puis revêtue de la suspension conductrice, par exemple en badigeonnant l'éprouvette par une dispersion aqueuse de graphite. L'éprouvette doit être séchée, par exemple pendant 30 min à 100 °C dans une étuve à circulation d'air forcée.

6.3.2.2 Fil de section circulaire émaillé de diamètre nominal du conducteur supérieur à 0,100 mm et fil de section rectangulaire émaillé

Une longueur de fil droit d'environ 150 mm doit être revêtue de la suspension conductrice, par exemple en badigeonnant le fil par une dispersion aqueuse de graphite. La longueur de la couche doit être de (100 ± 5) mm. L'éprouvette doit être séchée, par exemple pendant 30 min à 100 °C dans une étuve à circulation d'air forcée.

6.4 Procédure

Méthode d'essai A: L'éprouvette conforme à 6.3.1 doit être abaissée dans le bain métallique selon la Figure 9.

Méthode d'essai B: L'éprouvette conforme à 6.3.2 doit être placée entre les deux blocs métalliques. L'éprouvette doit être reliée à l'appareil de mesure de l'impédance et doit être portée à la température d'essai spécifiée. Le facteur de perte diélectrique doit ensuite être lu directement sur l'appareil de mesure de l'impédance.

6.5 Résultats

Une éprouvette doit être essayée. Le facteur de perte diélectrique, la fréquence et la température de l'essai doivent être notés.

7 Essai 23: Détection des microfissures en immersion

Le but de cet essai est de trouver les défauts d'isolation après un traitement avec une solution d'eau salée. Son objectif est identique à l'essai de continuité haute tension de 5.3.

On prélève une longueur de fil approximative de 1,5 m pour les fils de diamètre nominal inférieur à 0,07 mm, et de 6 m pour les fils de diamètre nominal égal ou supérieur à 0,07 mm.

Pour les diamètres des conducteurs inférieurs à 0,07 mm, un échantillon d'une longueur de $1 \text{ m} \pm 0,05 \text{ m}$ doit être enroulé sans tension selon un diamètre de $100 \text{ mm} \pm 50 \text{ mm}$.

Pour les diamètres des conducteurs supérieurs ou égaux à 0,07 mm, un échantillon d'une longueur de $5 \text{ m} \pm 0,2 \text{ m}$ doit être enroulé sans tension selon un diamètre de $300 \text{ mm} \pm 100 \text{ mm}$.

L'échantillon est placé dans une étuve à circulation d'air à $125 \text{ °C} \pm 3 \text{ °C}$ pendant 10 min (voir note 1 ci-dessous) en l'absence d'autres valeurs requises.

Après ce traitement thermique, l'échantillon, suite à son refroidissement à la température ambiante, sans subir aucune contrainte ni déformation (voir note 2 ci dessous), doit être immergé dans une solution électrolytique de chlorure de sodium (2 g/l) additionnée avec la quantité appropriée d'une solution d'alcool phénolphtaléique (30 g/l) pour mettre aisément en évidence les ruptures de continuité de l'isolant (typiquement des traînées roses dans la solution). Le fil et la solution sont connectés à un générateur de tension continue de (12 ± 2) V en circuit ouvert.

La tension doit être appliquée pendant 1 min, l'échantillon se trouvant à un potentiel négatif par rapport à la solution. Le courant de court-circuit est limité à 500 mA pour éviter tout échauffement excessif.

Le nombre de microfissures observées, sans grossissement (vision normale), doit être noté.

NOTE 1 Sans traitement thermique préalable, les résultats ne sont pas significatifs.

NOTE 2 Tout étirement sur le fil peut entraîner la création de microfissures dans la solution électrolytique.

NOTE 3 Puisque ce test est réalisé en solution aqueuse, certains types d'isolants incompatibles avec l'eau amènent à des résultats non significatifs.

Annexe A **(informative)**

Méthodes de calcul du facteur de dissipation

A.1 Tangente delta – Point d'intersection

Plusieurs méthodes sont disponibles pour vérifier la répétabilité de la cuisson. Elles sont incluses comme exemple.

Le principe est le suivant: Une éprouvette de fil émaillé est utilisée comme un condensateur. Une électrode est reliée au conducteur, tandis que l'autre électrode est constituée soit d'un film de graphite séché qui recouvre l'isolant, soit d'un bain de métal en fusion. La température de l'éprouvette est élevée à une vitesse constante et contrôlée. Le facteur de dissipation (d) est obtenu et tracé pour obtenir la courbe du facteur de dissipation (tangente delta) en fonction de la température. L'interprétation de la courbe permet d'obtenir une valeur de température qui est directement liée au degré de la cuisson de l'émail. Il existe des méthodes alternatives selon lesquelles l'échantillon est refroidi d'une température plus haute à une température plus basse.

A.2 Méthodes d'essai

A.2.1 Méthode A

A.2.1.1 Utilisation d'un alliage de métal en fusion avec une température croissante

Un pont de mesure électronique délivrant directement la valeur de d doit être utilisé.

L'éprouvette de fil émaillé doit être soigneusement essuyée avec un chiffon doux et fixée sur son support. L'éprouvette de fil et son support doivent être immergés dans un bain de métal liquide à la température minimale. L'éprouvette doit être reliée au pont de mesure avec le conducteur comme une des électrodes et le métal liquide comme l'autre électrode. La température de l'ensemble doit être augmentée d'une manière continue, de la température ambiante jusqu'à une température permettant d'obtenir une courbe clairement définie. Les valeurs de tangente delta et de température sont lues régulièrement et reportées sur un graphe avec l'axe linéaire pour la température et l'axe logarithmique ou linéaire pour la tangente delta. Compte tenu de la vitesse des variations, une table traçante ou un ordinateur sont recommandés. Ils permettent également de réaliser l'essai avec une augmentation de température plus rapide. Dans tous les cas, il est recommandé de prendre le plus grand soin pour s'assurer qu'il n'y ait aucun décalage dans le temps entre la valeur mesurée et la valeur réelle. Il convient que l'équipement utilisé, les échauffements et la méthode d'interprétation fassent l'objet d'un accord entre le fournisseur et le client.

A.2.1.2 Utilisation d'un alliage de métal en fusion avec une température décroissante

Un pont de mesure électronique délivrant directement la valeur de d doit être utilisé.

L'éprouvette de fil émaillé doit être soigneusement essuyée avec un chiffon doux et fixée sur son support. L'éprouvette de fil et son support doivent être immergés pendant 30 s dans un bain de métal liquide à la température maximale. L'éprouvette doit être ensuite retirée et secouée pour enlever l'excès d'alliage en fusion, refroidie pendant environ 10 s à la température ambiante, et de nouveau immergée. L'éprouvette doit être reliée au pont de mesure avec le conducteur comme une des électrodes et le métal liquide comme l'autre électrode. La température de l'ensemble doit être diminuée de manière continue pour obtenir une courbe clairement définie du facteur de dissipation diélectrique en fonction de la température. Un essai doit être réalisé.

Les valeurs de tangente delta et de température sont lues régulièrement et reportées sur un graphe avec la température sur l'axe X (linéaire) et le facteur de dissipation diélectrique (tangente delta) sur l'axe Y (logarithmique). Compte tenu de la vitesse des variations, une table traçante ou un ordinateur sont recommandés. Ils permettent également de réaliser l'essai avec une augmentation de température plus rapide. Dans tous les cas, il est recommandé de prendre le plus grand soin pour s'assurer qu'il n'y ait aucun décalage dans le temps entre la valeur mesurée et la valeur réelle. Il convient que l'équipement utilisé, les échauffements et la méthode d'interprétation fassent l'objet d'un accord entre le fournisseur et le client.

NOTE La température la plus élevée du bain d'alliage liquide à laquelle l'éprouvette du fil est introduite et la tangente delta tracée sur la courbe de refroidissement dépend du type de l'isolation et de la température de transition vitreuse (tg) de l'émail. Elle peut être déterminée en effectuant un essai préliminaire sur l'émail du fil inconnu.

A.2.2 Méthode B – Fil recouvert d'une couche conductrice

Un pont de mesure électronique délivrant directement la valeur de d doit être utilisé.

L'éprouvette doit être reliée au pont de mesure avec le conducteur comme une des électrodes et la couche de graphite comme l'autre électrode.

La température de l'ensemble doit être augmentée d'une manière continue, de la température ambiante jusqu'à une température permettant d'obtenir une courbe clairement définie. La température doit être lue par un capteur en contact avec l'éprouvette. La position du capteur de température et le type de contact peuvent influencer la lecture et différents dispositifs peuvent donner des résultats différents. Les valeurs de tangente delta et de température sont lues régulièrement et reportées sur un graphe avec l'axe linéaire pour la température et l'axe logarithmique ou linéaire pour la tangente delta. Compte tenu de la vitesse des variations, une table traçante ou un ordinateur sont recommandés. Ils permettent également de réaliser l'essai avec une augmentation de température plus rapide. Dans tous les cas, il est recommandé de prendre le plus grand soin pour s'assurer qu'il n'y a aucun décalage dans le temps entre la valeur mesurée et la valeur réelle. Il convient que l'équipement utilisé, les échauffements et la méthode d'interprétation fassent l'objet d'un accord entre le fournisseur et le client.

A.3 Interprétation des résultats

A.3.1 Généralités

Il existe deux façons d'obtenir la courbe définissant la tangente delta dans les graphiques des Figures A.1 et A.2.

La valeur d peut être reportée sur l'axe Y soit avec une échelle linéaire, soit avec une échelle logarithmique. Le calcul de la valeur de $\text{tg} \delta$ est réalisé de façon différente dans les deux cas. Une distinction doit être faite à la présentation des résultats selon la méthode utilisée. Les graphes suivants sont destinés uniquement à la compréhension de ces méthodes et ne représentent aucune exigence particulière sur les produits.

A.3.2 Méthode linéaire

Une droite est tracée tangente à la partie la plus raide de la première pente de l'augmentation de la tangente delta en fonction de la température. Une droite horizontale est tracée à partir d'un point de la courbe correspondant à la valeur de la température convenue entre le fournisseur et le client. La température correspondant au point d'intersection des deux droites est relevée. Cette valeur est alors présentée comme $\text{tg} \delta = \text{xxx } ^\circ\text{C (lin)}$.

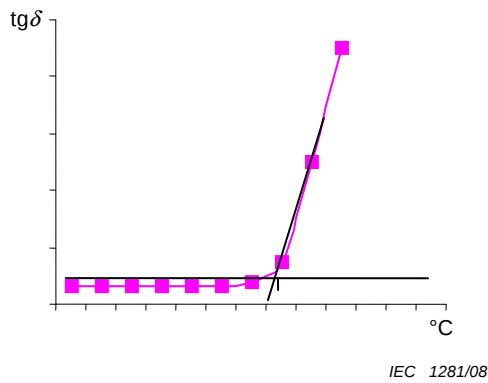


Figure A.1 – Exemple de la méthode linéaire pour revêtement unique

A.3.3 Méthode logarithmique

Dans le cas des températures croissantes, deux droites horizontales sont tracées depuis l'axe Y à des valeurs préalablement convenues entre le fournisseur et le client. Une droite est tracée entre les points d'intersection de ces droites et de la courbe. Elle est prolongée jusqu'au croisement avec la droite horizontale qui suit la valeur minimale de la courbe.

La température correspondant à ce dernier point d'intersection est relevée. Cette valeur est alors présentée comme $\text{tg}\delta = \text{xxx } ^{\circ}\text{C (log)}$.

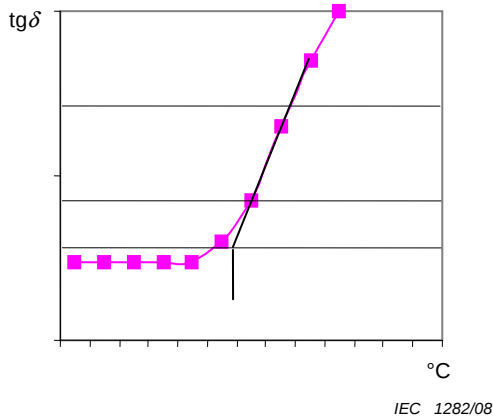


Figure A.2 – Exemple de la méthode logarithmique pour revêtement unique

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