

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Winding wires – Test methods –
Part 4: Chemical properties**

**Fils de bobinage – Méthodes d'essai –
Partie 4: Propriétés chimiques**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2016 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

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

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

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

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

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

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

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

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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



IEC 60851-4

Edition 3.0 2016-07

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Winding wires – Test methods –
Part 4: Chemical properties**

**Fils de bobinage – Méthodes d’essai –
Partie 4: Propriétés chimiques**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.060.10

ISBN 978-2-8322-3512-6

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

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references.....	7
3 Test 12: Resistance to solvents	7
3.1 General.....	7
3.2 Equipment	8
3.3 Procedure	8
4 16: Resistance to refrigerants	9
4.1 General.....	9
4.2 Extraction	9
4.2.1 Principle	9
4.2.2 Equipment	9
4.2.3 Specimen.....	11
4.2.4 Procedure	11
4.2.5 Result.....	12
4.3 Breakdown voltage.....	12
4.3.1 Principle	12
4.3.2 Procedure	12
4.3.3 Result.....	13
5 Test 17: Solderability	13
5.1 General.....	13
5.2 Equipment	13
5.3 Procedure	14
6 Test 20: Resistance to hydrolysis and to transformer oil	14
6.1 General.....	14
6.2 Round wire	15
6.2.1 Equipment	15
6.2.2 Specimens.....	15
6.2.3 Procedure	15
6.3 Rectangular wire	16
6.3.1 Equipment	16
6.3.2 Specimens.....	16
6.3.3 Procedure	16
Annex A (informative) Alternative refrigerants to monochlorodifluoromethane.....	18
Bibliography	19
Figure 1 – Pencil and specimen for solvent test	8
Figure 2 – Refrigerant extractable test siphon cup	10
Figure 3 – Condenser coil	11
Figure 4 – Example of carrier for solderability test	14
Table 1 – Pencil hardness.....	9
Table 2 – Volume of components	16

Table A.1 – Alternative refrigerants to R 22 18

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

WINDING WIRES – TEST METHODS –**Part 4: Chemical 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.

International Standard IEC 60851-4 has been prepared by IEC technical committee 55: Winding wires.

This third edition cancels and replaces the second edition published in 1996, Amendment 1:1997 and Amendment 2:2005. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) revision of Test 16: Resistance to refrigerants;
- b) revision of Test 17: Solderability;
- c) new Annex A for alternative refrigerants to monochlorodifluoromethane (R 22).

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

FDIS	Report on voting
55/1578/FDIS	55/1580/RVD

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

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

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

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

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

INTRODUCTION

The IEC 60851 series is part of a group of International Standards which define insulated wires used for windings in electrical equipment:

- 1) IEC 60851 series, *Winding wires – Test methods*;
- 2) IEC 60317 series, *Specifications for particular types of winding wires*;
- 3) IEC 60264 series, *Packaging of winding wires*.

WINDING WIRES – TEST METHODS –

Part 4: Chemical properties

1 Scope

This part of IEC 60851 specifies the following chemical properties tests:

- Test 12: Resistance to solvents;
- Test 16: Resistance to refrigerants;
- Test 17: Solderability;
- Test 20: Resistance to transformer oil.

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

IEC 60296, *Fluids for electrotechnical applications – Unused mineral insulating oils for transformers and switchgear*

IEC 60554-1:1977, *Specification for cellulosic papers for electrical purposes – Part 1: Definitions and general requirements*

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

IEC 60851-3:2009, *Winding wires – Test methods – Part 3: Mechanical properties*

IEC 60851-5:2008, *Winding wires – Test methods – Part 5: Electrical properties*

ISO 9453, *Soft solder alloys – Chemical compositions and forms*

3 Test 12: Resistance to solvents

3.1 General

This test is applicable to enamelled round wire with a nominal conductor diameter over 0,250 mm and to enamelled rectangular wire.

The test is not suitable for round wires with a nominal conductor diameter up to and including 0,250 mm.

Resistance to solvents is expressed by the pencil hardness of the wire after solvent treatment.

3.2 Equipment

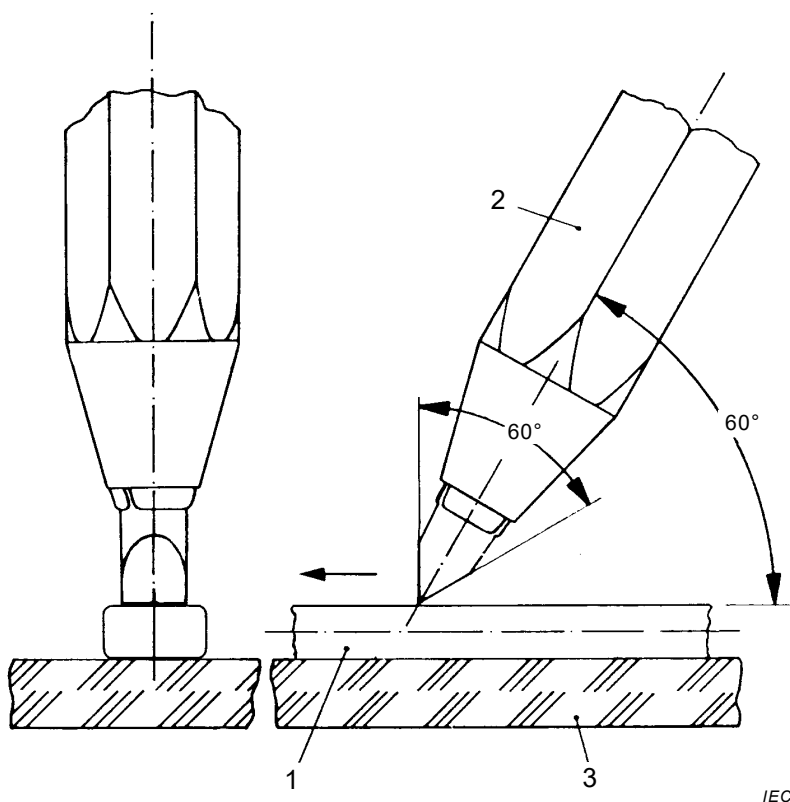
The following solvents shall be used:

- standard solvent as specified below, or
- solvent as agreed between purchaser and supplier.

The standard solvent shall be a mixture of:

- 60 % by volume white spirit with maximum aromatic content of 18 %;
- 30 % by volume xylene;
- 10 % by volume butanol.

The pencil to be used shall be a lead pencil of the hardness specified in the relevant standard. Before each test, the point of the pencil shall be sharpened with a smooth-cut file to form an angle of 60° symmetrical about the axis of the lead according to Figure 1.



Key

- 1 Winding wire specimen
- 2 Pencil
- 3 Test surface

NOTE Angle tolerances $\pm 5^\circ$.

Figure 1 – Pencil and specimen for solvent test

3.3 Procedure

A straight piece of wire, approximately 150 mm in length, shall be preconditioned for (10 ± 1) min at $(130 \pm 3)^\circ\text{C}$ in an oven with forced air circulation. A substantial length of the wire shall then be immersed in standard solvent contained in a glass cylinder and shall be maintained therein at a temperature of $(60 \pm 3)^\circ\text{C}$ for a period of (30 ± 3) min. The wire shall

then be removed from the solvent. The hardness of the wire surface shall then be determined in the following manner within a period of 30 s after removal from the solvent.

The specimen to be tested shall be laid on a smooth hard surface according to Figure 1. In the case of rectangular wires, the test shall be carried out on the largest side of the wire. The pencil shall be placed on the surface of the wire at an angle of approximately (60 ± 5) and the sharpened edge shall be pressed slowly along the surface of the wire with a force of approximately $(5 \pm 0,5)$ N.

Three tests shall be made. It shall be reported if the coating is removed with exposure of the bare conductor.

NOTE 1 This method can also be used for testing resistance to other fluids, for example oil.

NOTE 2 Where it is desired to determine the hardness of the insulation, the hardness of the lead pencil which just fails to remove the coating from the surface of the conductor is considered to be the hardness of the wire surface, expressed by the pencil hardness. The pencil hardness series is as described in Table 1.

Table 1 – Pencil hardness

6B	5B	4B	3B	2B	B	HB	H	2H	3H	4H	5H	6H	7H	8H	9H
4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

4 16: Resistance to refrigerants

4.1 General

This test is applicable to enamelled round wire.

Resistance to refrigerant is expressed by the quantity of matter extracted from the coating of the wire and by the breakdown voltage after exposure to a refrigerant.

NOTE 1 The data in this test method apply to monochlorodifluoromethane (refrigerant R 22). Other refrigerants that have been determined by investigation to be appropriate for this test are provided in Annex A. When these other refrigerants are used, it is important for safety reasons to observe the critical data for these refrigerants and to comply with the revised test conditions during operation of the pressure vessel.

NOTE 2 Refrigerants like monochlorodifluoromethane and rinsing fluids like trichlorotrifluorethane (refrigerant R 113) are ozone depleting chemicals (ODC). Refrigerant and rinsing fluid are agreed upon between customer and supplier.

4.2 Extraction

4.2.1 Principle

A siphon cup containing the wire sample is placed in the pressure vessel. The extractable matter is determined after exposure of the wire sample to the refrigerant under pressure and at elevated temperature.

4.2.2 Equipment

The following equipment shall be used:

- siphon cup according to Figure 2, of 450 ml volume up to the siphoning level;
- pressure vessel of 2 000 ml volume with an internal diameter of approximately 100 mm and a pressure capacity of 200 bar (20 MPa), preferably of unwelded construction and provided with a controlled heating system;
- top closure of the vessel containing a condenser coil according to Figure 3;
- oven with forced air circulation.



IEC

Key

Height of cup: (82 ± 5) mm

Diameter of cup: (84 ± 5) mm

Diameter of tubing: (5 ± 1) mm

Figure 2 – Refrigerant extractable test siphon cup



IEC

Figure 3 – Condenser coil

4.2.3 Specimen

Eight wire samples each containing $(0,6 \pm 0,1)$ g of insulation shall be wound into coils of 70 turns. The specimens shall be degreased and conditioned in an oven with forced air circulation at (150 ± 3) °C for 15 min. After 30 min cooling, the eight specimens shall be weighed together to the nearest 0,000 1 g, resulting in the total initial mass M_1 .

4.2.4 Procedure

The eight specimens shall be placed in the siphon cup, which is suspended (25 ± 5) mm below the condenser coil on the pressure vessel cover. The pressure vessel shall be assembled and charged with (700 ± 25) g of distilled refrigerant free from lubricant. The condenser water supply and drain line shall be connected and the pressure vessel shall be heated by means of a controlled heating system with the temperature set to (75 ± 5) °C or a lower temperature if required to comply with the conditions of the following paragraph relating to critical pressure. The water flowing through the condenser shall be adjusted to maintain a reflux rate of 20 to 25 discharges per hour from the siphon cup. The extraction period shall be 6 h.

The pressure in the vessel shall not exceed 75 % of the critical pressure of the refrigerant chosen. Therefore, prior to use, the over-pressure control valve shall be checked to ensure its proper functioning. The heating system should be automatically deactivated if the pressure exceeds 75 % of the critical pressure of the refrigerant chosen or if the water flow through the condenser coil is interrupted.

At the end of the extraction period the pressure vessel shall be cooled. The refrigerant shall be removed from the pressure vessel and recovered using suitable means such as a refrigerant compressor and recovery system. The pressure shall be released and the pressure vessel opened.

For the following operations, the rinsing fluid shall be distilled before use.

The specimens and siphon cup shall be rinsed with the agreed rinsing fluid, the rinse poured into the pressure vessel and the walls of the pressure vessel washed with two successive rinses each of 100 ml of rinsing fluid. The fluid shall then be evaporated to (5 ± 1) mm from the bottom of the pressure vessel and recovered in a safe manner.

The liquid sample shall be transferred to a pre-dried tared aluminium weighing dish and the pressure vessel rinsed with 15 ml of rinsing fluid, which is transferred to the dish and then evaporated to dryness at $(150 \pm 3) ^\circ\text{C}$ for (60 to 65) min. The weighing dish shall then be cooled to room temperature in a desiccator. The dish with the residue shall be weighed to the nearest 0,000 1 g and the original tared mass of the same dish subtracted. The difference is the total residue mass M_2 of the matter extracted from the eight specimens.

The insulation on the coils shall be removed by suitable chemical means not affecting the conductor and the bare conductors shall be dried at $(150 \pm 3) ^\circ\text{C}$ for (15 ± 1) min and cooled to room temperature in a desiccator. They shall be weighed to the nearest 0,000 1 g and the mass of the eight conductors together is the total conductor mass M_3 .

4.2.5 Result

The extractable matter shall be determined according to the following equation :

$$\text{Extractable matter} = \frac{M_2}{M_1 - M_3} \times 100 \%$$

One test shall be made. The masses M_1 , M_2 , M_3 , the refrigerant, rinsing fluid, temperature, pressure of the pressure vessel and the percentage extractable matter shall be reported.

4.3 Breakdown voltage

4.3.1 Principle

A specimen prepared according to 4.4.1 of IEC 60851-5:2008 is placed in a pressure vessel according to 4.3.2. The breakdown voltage is determined after exposure of the specimen to the refrigerant under pressure and at elevated temperature.

4.3.2 Procedure

The specimen shall be conditioned in the oven $(150 \pm 3) ^\circ\text{C}$ for 4 h and then placed in the pressure vessel, which shall be assembled and charged with $(1\,400 \pm 50)$ g of refrigerant. The pressure vessel shall be heated according to 4.2.4 but for a period of (72 ± 1) h.

At the end of the exposure period, the pressure vessel shall be cooled and discharged as described under 4.2.4. When the pressure inside the tube is less than 2 bar (0,2 MPa) absolute, the pressure vessel shall be opened and the specimen, within a period of 25 s to 30 s, transferred to the oven at a temperature of $(150 \pm 3) ^\circ\text{C}$. The specimen shall remain in

the oven for (10 ± 1) min. After the specimen is removed from the oven and allowed to cool to room temperature, the breakdown voltage shall be determined according to 4.4.1 of IEC 60851-5:2008.

4.3.3 Result

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

5 Test 17: Solderability

5.1 General

This test is applicable to enamelled round wire and bunched wire.

Solderability is expressed by the time of immersion of the specimen in a solder bath required to remove the coating and to coat the conductor with solder.

Safety warning: Chemical hazard – Lead has been recognized by regulatory agencies to be a hazardous substance. Primary routes of exposure are by inhalation and ingestion. The information contained in the Material safety data sheet (MSDS) for lead, tin, flux and alcohol must be adhered to while using, handling or disposing of these products. Adequate ventilation or forced exhausting of solder pot vapours and products of decomposition from various solderable insulations may be necessary to comply with environmental regulations.

Safety warning: Thermal hazard – Care shall be exercised in removing test specimens from the solder pot to avoid skin burns.

5.2 Equipment

The following equipment shall be used:

- temperature controlled solder bath of sufficient volume to maintain a constant solder temperature when immersing the specimen at any temperature specified in the relevant standard. Solder composition shall be of a mass ratio of 60 parts tin to 40 parts lead or a lead-free solder in accordance with ISO 9453 or as agreed upon between customer and supplier; any dross which forms shall be removed from the surface of the solder before each test; the temperature shall be controllable with ± 5 °C of the temperature specified in the relevant standard.

NOTE 1 Copper corrosion is greater when using lead free solder when compared to a tin/lead composition.

- any specimen holder that holds the wire under test free for at least 20 mm between the points of support when immersed into the solder (See Figure 4). The material used for the specimen holder shall be such that the solder does not undergo any contamination and the dimensions of the holder shall not lead to significant change of the bath temperature during immersion.

NOTE 2 Contamination of the solder due to oxidation or from copper can affect the results.

Dimensions in millimetres

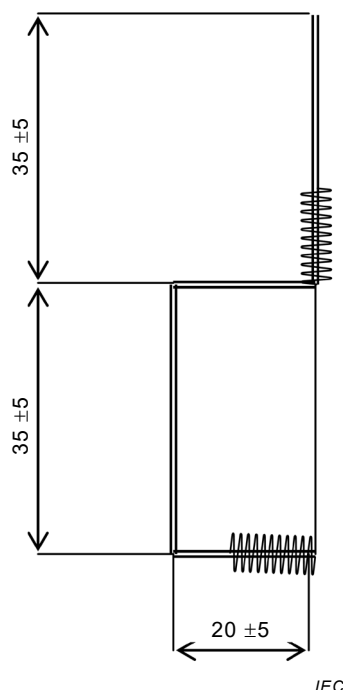


Figure 4 – Example of carrier for solderability test

5.3 Procedure

The specimen shall be held vertically over the centre of the bath maintained at the temperature as specified in the relevant standard. The bottom end shall be lowered to (35 ± 5) mm below the surface of the bath. The position at which the specimen is immersed shall be within 10 mm of the point where the temperature is measured. After immersion for the time specified in the relevant specification sheet, the specimen shall be moved sideways in the bath before it is withdrawn from the solder.

The surface of the tinned wire shall be examined with a magnification of 6 to 10 times. In the case of wire up to and including 0,100 mm nominal conductor diameter, the examination shall be restricted to the centre $(25 \pm 2,5)$ mm free length section between the supports. In the case of wire over 0,100 mm nominal conductor diameter and bunched wires the examination shall be restricted to the lower 15 mm of the segment immersed in the pot.

Three specimens shall be tested. The condition of the surface of the wire shall be reported.

6 Test 20: Resistance to hydrolysis and to transformer oil

6.1 General

This test is applicable to enamelled wire.

Resistance to hydrolysis is expressed by appearance and adherence after exposure of the specimens to transformer oil in the presence of water under pressure and at elevated temperature.

Resistance to transformer oil is expressed by breakdown voltage and flexibility after exposure of the specimens to transformer oil under pressure and at elevated temperature.

NOTE The water can affect the coating by hydrolytic degradation and/or by absorption. If only absorption has occurred, drying the specimen at $125\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 30 min prior to the breakdown voltage test will produce a recovery of the specimen. Wire with a nominal conductor diameter between 0,800 mm and 1,500 mm has been generally found convenient to handle and to test.

6.2 Round wire

6.2.1 Equipment

The following equipment shall be used:

- two glass tubes of 25 mm diameter and 300 mm length capable of being sealed;
- stainless steel pressure vessel of 400 ml to 500 ml volume with a pressure capacity of 6×10^6 Pa, preferably of unwelded construction and provided with a controlled heating system;
- transformer oil according to IEC 60296;
- paper according to IEC 60554-1, type 1.

6.2.2 Specimens

The following specimens shall be prepared:

- 12 straight pieces of wire with a length of approximately two-thirds of the internal height of pressure vessel;
- 10 twisted pair specimens prepared in accordance with 4.4.1 of IEC 60851-5:2008 for nominal conductor diameter up to and including 2,500 mm or 10 straight specimens tested in accordance with 4.5.1 of IEC 60851-5:2008 for nominal conductor diameter over 2,500 mm;
- 3 mandrel-wound specimens prepared in accordance with 5.1.1 of IEC 60851-3:2009 for nominal conductor diameter up to and including 1,600 mm or 3 straight specimens tested in accordance with 5.2 of IEC 60851-3:2009 for a nominal conductor diameter over 1,600 mm.

6.2.3 Procedure

6.2.3.1 Resistance to hydrolysis

Six straight pieces of wire prepared according to 6.2.2 are placed in the pressure vessel together with a quantity of de-aerated dry transformer oil sufficient to occupy $(52,5 \pm 2,5)\%$ of the volume of the pressure vessel. The pressure vessel shall be sealed and heated to $(150 \pm 3)\text{ }^{\circ}\text{C}$ for (24 ± 1) h, after which it is allowed to cool to room temperature before opening. The specimens shall be examined with normal vision. The test shall be repeated with a quantity of water equal to $(0,3 \pm 0,1)\%$ of the volume of oil used being added to the pressure vessel.

One test shall be made. Any changes in appearance and adherence shall be reported.

6.2.3.2 Resistance to transformer oil

Depending on the diameter and according to 6.2.2, the pressure vessel shall contain 10 twisted pair or straight specimens, three mandrel-wound or straight specimens and extra pieces of wire to arrive at the volume of coating specified in Table 2.

NOTE The total mass of wire in grams to provide the required volume of enamel can be calculated approximately by:

$$M = \frac{Y \times V}{600 \times \delta \times D}$$

where

V is the volume of the pressure vessel in millilitres;

Y is the mass of 1 m of wire in grams;

δ is the increase in diameter due to the coating in millimetres;

D is the overall diameter of the wire in millimetres.

The pressure vessel shall be charged in accordance with the components and quantities specified in Table 2. Immediately prior to their addition, the oil and paper shall be dried and the oil de-aerated at a pressure of 2 kPa for (16 ± 1) h at (90 ± 3) °C or for $(4 \pm 0,30)$ h at (105 ± 3) °C.

Table 2 – Volume of components

Component	Container volume %
Transformer oil	65 ± 5
Paper	4 ± 1
Coating	$0,275 \pm 0,075$
Steel	^a
^a By agreement between purchaser and supplier.	

The sealed pressure vessel shall be heated to the class temperature of the wire ± 3 °C, or to (150 ± 3) °C, if class temperature is higher than 150 °C, and maintained for $(1\,000 \pm 10)$ h. The pressure vessel shall then be allowed to cool to room temperature, discharged and opened. Five of the 10 specimens shall be tested at (105 ± 3) °C for breakdown voltage with the specimens in air in accordance with either 4.4.2 or 4.5.2 of IEC 60851-5:2008, depending on the conductor diameter. The remaining five of the 10 specimens shall be dried at (125 ± 3) °C for (30 ± 5) min, allowed to cool to room temperature and then tested at (105 ± 3) °C for breakdown voltage in air in accordance with either 4.4.2 or 4.5.2 of IEC 60851-5:2008, depending on the conductor diameter.

The three specimens shall be examined for cracks according to either 5.1.1.1 or 5.2 of IEC 60851-3:2009, depending on the conductor diameter.

One test shall be made. The individual values of breakdown voltage and any cracks shall be reported.

6.3 Rectangular wire

6.3.1 Equipment

Equipment according to 6.2.1 shall be used.

6.3.2 Specimens

The following specimens shall be prepared:

- 10 straight pieces of wire with a length of approximately two-thirds of the internal height of pressure vessel;
- four U-shaped specimens prepared in accordance with 4.7.1 of IEC 60851-5:2008;
- two mandrel bent specimens prepared in accordance with 5.1.2 of IEC 60851-3:2009.

6.3.3 Procedure

6.3.3.1 Resistance to hydrolysis

Each of the tubes shall be charged with five straight pieces of wire according to 6.3.2 and 80 ml de-aerated dry transformer oil. To one of the tubes, $(0,24 \pm 0,01)$ ml of distilled water

shall be added. The two tubes shall be sealed and placed in an oven for 24 h at $(150 \pm 3) ^\circ\text{C}$. The tubes shall then be removed from the oven, and then allowed to cool down to room temperature and opened. The specimens shall be examined with normal vision.

One test shall be made. Any changes in appearance and adherence shall be reported.

6.3.3.2 Resistance to transformer oil

The pressure vessel shall contain four U-shaped specimens, two mandrel bent specimens and extra pieces of wire to arrive at the volume of coating specified in Table 2.

NOTE The total mass of wire in grams to provide the required volume of enamel can be calculated approximately by:

$$M = \frac{Y \times V}{385 \times \delta \times (W + T)}$$

where

V is the volume of the pressure vessel in millilitres;

Y is the mass of 1 m of wire in grams;

δ is the increase in thickness due to the coating in millimetres;

W is the overall width of the wire in millimetres;

T is the overall thickness of the wire in millimetres.

The pressure vessel shall then be charged, in accordance with the quantities specified in Table 2, with oil and paper which shall have been dried separately immediately prior to addition at a pressure of maximum 2 kPa for (16 ± 1) h at $(90 \pm 3) ^\circ\text{C}$ or for $(4 \pm 0,1)$ h at $(105 \pm 3) ^\circ\text{C}$. The sealed pressure vessel shall be heated to the class temperature of the wire $\pm 3 ^\circ\text{C}$, or to $(150 \pm 3) ^\circ\text{C}$ if class temperature is higher than $150 ^\circ\text{C}$, and maintained for $(1\,000 \pm 10)$ h. The pressure vessel shall then be allowed to cool to room temperature, discharged and opened. Two of the U-shaped specimens shall be tested at $(105 \pm 3) ^\circ\text{C}$ for breakdown voltage in air in accordance with 4.7.2 of IEC 60851-5:2008. The remaining two of the U-shaped specimens shall be dried at $(125 \pm 3) ^\circ\text{C}$ for (30 ± 5) min, allowed to cool to room temperature and then tested at $(105 \pm 3) ^\circ\text{C}$ for breakdown voltage in air according to 4.7.2 of IEC 60851-5:2008.

The mandrel-bent specimens shall be examined for cracks according to 5.1.2 of IEC 60851-3:2009.

One test shall be made. The individual values of breakdown voltage and any cracks shall be reported.

Annex A (informative)

Alternative refrigerants to monochlorodifluoromethane

Table A.1 provides a list of alternative refrigerants to monochlorodifluoromethane (R 22) that have been found through investigation to be suitable for use in Test 16.

For safety purposes and for their proper application during testing, observation of critical data in this table is recommended.

Table A.1 – Alternative refrigerants to R 22

Refrigerant	Composition (Weight percent)	Formula	Boiling Point	Critical Pressure	Critical Temperature
	Monochlorodifluoromethane		°C	MPa	°C
R 22		CHClF ₂	−41	5,0	96,2
R 134a	1,1,1,2 Tetrafluoroethane	CH ₂ FCF ₃	−26	4,1	101,1
R 404a	Pentafluoroethane – 44 %	CF ₃ -CHF ₂	−47	3,7	72,1
	1,1,1 Trifluoroethane – 52 %	CF ₃ -CH ₃			
	1,1,1,2 Tetrafluoroethane – 4 %	CF ₃ CH ₂ F			
R 407c	R 32 – 23 %	CH ₂ F ₂	−44	4,6	86,7
	R 125 – 25 %	C ₂ HF ₅			
	R 134a – 52 %	CH ₂ FCF ₃			
R 410a	R 32 – 50 %	CH ₂ F ₂	−52	4,9	71,8
	R 125 – 50 %	C ₂ HF ₅			
R 507	R 125 – 50 %	C ₂ HF ₅	−47	3,8	70,9
	R 134a – 50 %	CH ₂ FCF ₃			
Consultation with the refrigerant manufacturer is recommended for updated information.					

Bibliography

IEC 60264 (all parts), *Packaging of winding wires*

IEC 60317 (all parts), *Specifications for particular types of winding wires*

IEC 60851 (all parts), *Winding wires – Test methods*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	22
INTRODUCTION.....	24
1 Domaine d'application.....	25
2 Références normatives	25
3 Essai 12: Résistance aux solvants	25
3.1 Généralités	25
3.2 Equipement.....	26
3.3 Procédure	26
4 Essai 16: Résistance aux réfrigérants	27
4.1 Généralités	27
4.2 Extraction	27
4.2.1 Principe	27
4.2.2 Equipement	27
4.2.3 Eprouvette	29
4.2.4 Procédure.....	29
4.2.5 Résultats	30
4.3 Tension de claquage	30
4.3.1 Principe	30
4.3.2 Procédure.....	30
4.3.3 Résultats	31
5 Essai 17: Brasabilité	31
5.1 Généralités	31
5.2 Equipement.....	31
5.3 Procédure	32
6 Essai 20: Résistance à l'hydrolyse et à l'huile de transformateur.....	32
6.1 Généralités	32
6.2 Fil de section circulaire	33
6.2.1 Equipement	33
6.2.2 Eprouvettes	33
6.2.3 Procédure.....	33
6.3 Fil de section rectangulaire.....	34
6.3.1 Equipement	34
6.3.2 Eprouvettes	34
6.3.3 Procédure.....	35
Annexe A (informative) Réfrigérants de remplacement pour le monochlorodifluorométhane	36
Bibliographie	37
Figure 1 – Essai aux solvants: crayon et éprouvette	26
Figure 2 – Récipient à siphon d'essai pour extraction par un réfrigérant.....	28
Figure 3 – Condenseur	29
Figure 4 – Exemple de support pour l'essai de brasabilité.....	32
Tableau 1 – Duretés-crayon.....	27
Tableau 2 – Volume des composants	34

Tableau A.1 – Réfrigérants de remplacement pour le R 22.....	36
--	----

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

FILS DE BOBINAGE – MÉTHODES D'ESSAI –

Partie 4: Propriétés chimiques

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale IEC 60851-4 a été établie par le comité d'études 55 de l'IEC: Fils de bobinage.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition parue en 1996, l'Amendement 1:1997 et l'Amendement 2:2005. Cette édition constitue une révision technique.

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

- a) révision de l'Essai 16: Résistance aux réfrigérants;
- b) révision de l'Essai 17: Brasabilité;
- c) nouvelle Annexe A relative aux réfrigérants de remplacement pour le monochlorodifluorométhane (R 22).

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
55/1578/FDIS	55/1580/RVD

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

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

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

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

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

INTRODUCTION

La série IEC 60851 constitue un élément d'un groupe de Normes internationales définissant les fils isolés utilisés dans les enroulements des appareils électriques:

- 1) Série IEC 60851, *Fils de bobinage – Méthodes d'essai*;
- 2) Série IEC 60317, *Spécifications pour types particuliers de fils de bobinage*;
- 3) Série IEC 60264, *Conditionnement des fils de bobinage*.

FILS DE BOBINAGE – MÉTHODES D'ESSAI –

Partie 4: Propriétés chimiques

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60851 spécifie les essais de propriétés chimiques suivants:

- Essai 12: Résistance aux solvants;
- Essai 16: Résistance aux réfrigérants;
- Essai 17: Brasabilité;
- Essai 20: Résistance à l'huile de transformateur.

Pour les définitions, les notes générales concernant les méthodes d'essai et les séries complètes des méthodes d'essai des fils de bobinage, voir l'IEC 60851-1.

2 Références normatives

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

IEC 60296, *Fluides pour applications électrotechniques – Huiles minérales isolantes neuves pour transformateurs et appareillages de connexion*

IEC 60554-1:1977, *Spécification pour papiers celluloses à usages électriques – Première Partie: Définitions et conditions générales*

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

IEC 60851-3:2009, *Fils de bobinage – Méthodes d'essai – Partie 3: Propriétés mécaniques*

IEC 60851-5:2008, *Fils de bobinage – Méthodes d'essai – Partie 5: Propriétés électriques*

ISO 9453, *Alliages de brasage tendre – Compositions chimiques et formes*

3 Essai 12: Résistance aux solvants

3.1 Généralités

Cet essai est applicable au fil de section circulaire émaillé de diamètre nominal de conducteur supérieur à 0,250 mm ainsi qu'au fil de section rectangulaire émaillé.

L'essai n'est pas adapté aux fils de section circulaire de diamètre nominal de conducteur jusqu'à 0,250 mm inclus.

La résistance aux solvants est exprimée par la dureté-crayon du fil après l'action du solvant.

3.2 Equipement

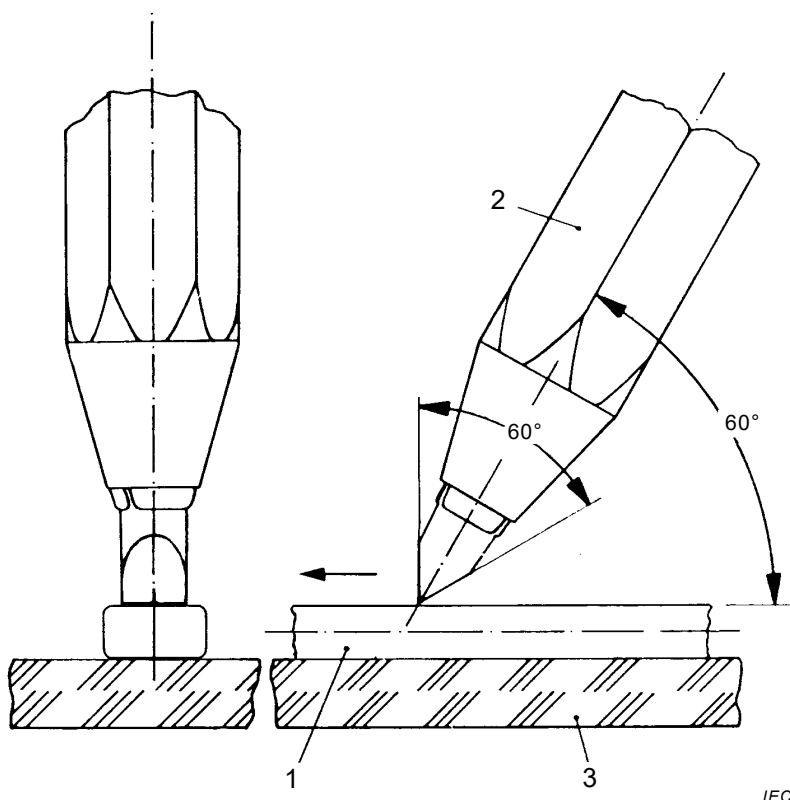
Les solvants suivants doivent être utilisés:

- solvant normalisé comme spécifié ci-dessous, ou
- solvant agréé entre acheteur et fournisseur.

Le solvant normalisé doit être un mélange de:

- 60 % en volume de white spirit contenant un maximum de 18 % d'aromatique;
- 30 % en volume de xylène;
- 10 % en volume de butanol.

Le crayon à utiliser doit avoir une mine de la dureté spécifiée dans la norme appropriée. Avant chaque essai, la pointe du crayon utilisé doit être affûtée avec une lime douce pour former un angle de 60° symétriquement par rapport à l'axe de la mine conformément à la Figure 1.



Légende

- 1 Eprouvette de fil de bobinage
- 2 Crayon
- 3 Surface d'essai

NOTE Tolérances angulaires $\pm 5^\circ$.

Figure 1 – Essai aux solvants: crayon et éprouvette

3.3 Procédure

Une longueur de fil droit de 150 mm environ doit être préconditionnée pendant (10 ± 1) min à $(130 \pm 3)^\circ\text{C}$ dans une étuve à ventilation forcée. Une longueur substantielle du fil doit alors être immergée dans le solvant normalisé contenu dans un récipient cylindrique en verre; elle doit y être maintenue à une température de $(60 \pm 3)^\circ\text{C}$ pendant (30 ± 3) min. Le fil doit alors

être retiré du solvant. La dureté de la surface du fil doit ensuite être mesurée comme indiqué ci-après. Le temps écoulé entre la sortie du solvant et la mesure ne doit pas dépasser 30 s.

L'éprouvette à soumettre aux essais doit être placée sur une surface lisse et dure conformément à la Figure 1. Dans le cas de fils de section rectangulaire, l'essai doit être réalisé sur le côté le plus grand du fil. Le crayon doit être placé suivant un angle d'environ (60 ± 5) sur la surface du fil et la pointe affûtée du crayon doit être pressée lentement le long de la surface du fil avec une force d'environ $(5 \pm 0,5)$ N.

Trois essais doivent être réalisés. Il faut noter si le revêtement est enlevé et si le conducteur nu est visible.

NOTE 1 Cette méthode peut aussi être employée pour vérifier la résistance à d'autres fluides, par exemple l'huile.

NOTE 2 Pour déterminer la dureté de l'isolant, la dureté de la mine du crayon avec laquelle il n'est pas possible d'enlever le revêtement de la surface du conducteur est considérée comme égale à la dureté de la surface du fil, exprimée par la dureté-crayon. La série des duretés-crayon est indiquée dans le Tableau 1.

Tableau 1 – Duretés-crayon

6B	5B	4B	3B	2B	B	HB	H	2H	3H	4H	5H	6H	7H	8H	9H
4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

4 Essai 16: Résistance aux réfrigérants

4.1 Généralités

Cet essai est applicable au fil de section circulaire émaillé.

La résistance au réfrigérant est exprimée par la quantité de matière extraite du revêtement du fil et par la tension de claquage après exposition au réfrigérant.

NOTE 1 Les données de cette méthode d'essai s'appliquent au monochlorodifluorométhane (réfrigérant R 22). D'autres réfrigérants qui, après étude, se sont révélés adaptés à cet essai sont donnés à l'Annexe A. Lorsqu'ils sont utilisés, il est important, pour des raisons de sécurité, de veiller aux données critiques de ces réfrigérants et de respecter les conditions d'essai révisées durant le fonctionnement du récipient sous pression.

NOTE 2 Des réfrigérants comme le monochlorodifluorométhane et des fluides de rinçage comme le trichlorotrifluoréthane (réfrigérant R 113) sont des produits chimiques réducteurs de la couche d'ozone (PRCO). Le réfrigérant et le fluide de rinçage font l'objet d'un accord entre le client et le fournisseur.

4.2 Extraction

4.2.1 Principe

Une coupe avec siphon contenant l'échantillon de fil est placée dans un récipient sous pression. La matière extraite est déterminée après exposition de l'échantillon de fil au réfrigérant sous pression à température élevée.

4.2.2 Equipement

L'équipement suivant doit être utilisé:

- une coupe avec siphon conforme à la Figure 2, d'une capacité de 450 ml jusqu'au point de siphonnage;
- un récipient sous pression d'une capacité de 2 000 ml, d'un diamètre intérieur d'environ 100 mm permettant une pression d'utilisation de 200 bars (20 MPa), de construction non soudée de préférence et équipé d'un système de chauffage régulé;
- le couvercle supérieur du récipient comprend un condenseur conforme à la Figure 3;

- une étuve à ventilation forcée.



Légende

Hauteur du récipient: (82 ± 5) mm

Diamètre du récipient: (84 ± 5) mm

Diamètre du tube: (5 ± 1) mm

Figure 2 – Récipient à siphon d'essai pour extraction par un réfrigérant



IEC

Figure 3 – Condenseur

4.2.3 Epreuve

Huit bobinages de 70 spires doivent être réalisés avec des échantillons de fil composés chacun de $(0,6 \pm 0,1)$ g d'isolant. Les éprouvettes doivent être dégraissées et conditionnées en étuve à ventilation forcée à $(150 \pm 3)^\circ\text{C}$ pendant 15 min. Après un refroidissement de 30 min, les huit éprouvettes doivent être pesées ensemble à 0,000 1 g près, ce qui constitue la masse initiale totale M_1 .

4.2.4 Procédure

Les huit éprouvettes doivent être placées dans la coupe avec siphon, qui est suspendue (25 ± 5) mm au-dessous du condenseur sur le couvercle du récipient sous pression. Le récipient sous pression doit être fermé et chargé de (700 ± 25) g de réfrigérant distillé exempt de lubrifiant. L'alimentation en eau et l'écoulement du condenseur doivent être branchés et le récipient sous pression doit être chauffé au moyen d'un système de chauffage réglé à la température réglée de $(75 \pm 5)^\circ\text{C}$ ou à une température inférieure si nécessaire pour répondre aux conditions de l'alinéa qui suit relatif à la pression critique. Le débit d'eau dans le condenseur doit être réglé de façon à réaliser de 20 à 25 siphonnages à l'heure de la coupe avec siphon. La durée de l'extraction doit être de 6 h.

La pression du récipient ne doit pas dépasser 75 % de la pression critique du réfrigérant choisi. De ce fait, avant son utilisation, le fonctionnement correct de la soupape de sécurité doit être vérifié. Il convient de couper automatiquement le chauffage si la pression dépasse 75 % de la pression critique du réfrigérant choisi ou si le débit d'eau du condenseur s'interrompt.

A la fin du temps d'extraction, le récipient sous pression doit être refroidi. Le réfrigérant doit être retiré du récipient sous pression et récupéré en utilisant des moyens adaptés tels qu'un compresseur frigorifique et un système de récupération. La pression doit être libérée et le récipient sous pression doit être ouvert.

Pour les opérations suivantes, le fluide de rinçage doit être distillé avant utilisation.

Les éprouvettes et la coupe avec siphon doivent être rincées avec le fluide de rinçage agréé, le produit de rinçage doit être versé dans le récipient sous pression et les parois du récipient sous pression doivent être nettoyées par deux rinçages successifs de 100 ml de fluide de rinçage chacun. Le fluide doit alors être évaporé jusqu'à (5 ± 1) mm du fond du récipient sous pression et récupéré de manière sûre.

L'échantillon de liquide doit être transféré dans une coupelle de pesée en aluminium préalablement séchée et tarée. Le récipient sous pression doit être rincé avec 15 ml de fluide de rinçage, qui est transféré dans la coupelle, puis évaporé jusqu'à siccité à (150 ± 3) °C pendant (60 à 65) min. La coupelle doit ensuite être refroidie à température ambiante dans un dessiccateur. La coupelle d'aluminium avec le résidu doit être pesée à 0,000 1 g près. La tare d'origine de la même coupelle doit être soustraite du résultat. La différence est la masse de résidu totale M_2 de matière extraite pour les huit éprouvettes.

L'isolant des bobinages doit être retiré à l'aide d'un moyen chimique approprié qui n'affecte pas le conducteur, et les conducteurs nus doivent être séchés à (150 ± 3) °C pendant (15 ± 1) min et refroidis à température ambiante dans un dessiccateur. Les huit bobinages doivent être pesés ensemble à 0,000 1 g près et leur masse globale est la masse totale du conducteur M_3 .

4.2.5 Résultats

La matière extraite doit être déterminée par l'équation suivante :

$$\text{Matière extraite} = \frac{M_2}{M_1 - M_3} \times 100 \%$$

Un seul essai doit être réalisé. Les masses M_1 , M_2 , M_3 , le réfrigérant, le fluide de rinçage, la température et la pression du récipient sous pression, ainsi que le pourcentage de matière extraite doivent être relevés.

4.3 Tension de claquage

4.3.1 Principe

Une éprouvette préparée selon 4.4.1 de l'IEC 60851-5:2008 est placée dans un récipient sous pression selon les modalités de 4.3.2. La tension de claquage est déterminée après exposition de l'éprouvette au réfrigérant sous pression et à température élevée.

4.3.2 Procédure

L'éprouvette doit être conditionnée en étuve à (150 ± 3) °C pendant 4 h puis placée dans le récipient sous pression, qui doit être fermé et rempli de $(1\,400 \pm 50)$ g de réfrigérant. Le récipient sous pression doit être chauffé selon 4.2.4, mais pendant (72 ± 1) h.

A la fin du temps d'exposition, le récipient sous pression doit être refroidi et vidé comme décrit en 4.2.4. Lorsque la pression à l'intérieur du tube est inférieure à 2 bars (0,2 MPa) absolus, le récipient sous pression doit être ouvert et l'éprouvette doit être transférée dans une étuve à (150 ± 3) °C dans un intervalle de temps compris entre 25 s et 30 s. L'éprouvette doit être maintenue dans l'étuve pendant (10 ± 1) min. Après avoir retiré l'éprouvette de l'étuve et l'avoir laissée refroidir à température ambiante, la tension de claquage doit être déterminée selon 4.4.1 de l'IEC 60851-5:2008.

4.3.3 Résultats

Cinq éprouvettes doivent être soumises à essai. Les cinq valeurs doivent être notées.

5 Essai 17: Brasabilité

5.1 Généralités

Cet essai est applicable au fil de section circulaire émaillé et au fil toronné.

La brasabilité est exprimée par le temps d'immersion nécessaire pour enlever le revêtement et recouvrir de brasure le conducteur d'une éprouvette plongée dans un bain de brasure.

Avertissement de sécurité: Danger chimique – Le plomb a été reconnu par les organismes réglementaires comme étant une substance dangereuse. Les principales voies d'exposition sont l'inhalation et l'ingestion. Les informations contenues dans la Fiche de donnée de sécurité (FDS) concernant le plomb, l'étain, le diluant et l'alcool doivent être respectées pendant l'utilisation, la manipulation et la destruction de ces produits. Une ventilation adéquate ou une extraction forcée des vapeurs du bain de brasure et des produits de décomposition issus des différents isolants brasables peut être nécessaire pour satisfaire aux règlements sur l'environnement.

Avertissement de sécurité: Danger thermique – Des précautions doivent être prises durant l'extraction des échantillons en essai du bain de brasure pour éviter des brûlures de la peau.

5.2 Equipement

L'équipement suivant doit être utilisé:

- un bain de brasure à température régulée d'un volume suffisant pour en maintenir la température constante quand l'éprouvette est immergée à la température spécifiée dans la norme appropriée. La composition de la brasure doit être d'un rapport de masse de 60 parties d'étain pour 40 parties de plomb ou de brasure sans plomb conformément à l'ISO 9453 ou selon accord entre le client et le fournisseur; toutes les scories qui se créent doivent être enlevées de la surface de la brasure avant chaque essai; la température doit être réglable à ± 5 °C de la température spécifiée dans la norme appropriée.

NOTE 1 La corrosion du cuivre est supérieure dans le cas de l'utilisation d'une brasure sans plomb par rapport à une composition étain/plomb.

- un porte-éprouvette qui laisse le fil en essai libre sur au moins 20 mm entre les points d'appui quand il est immergé dans la brasure (voir Figure 4). Le matériel utilisé pour le porte-éprouvette ne doit pas contaminer le bain de brasure et les dimensions du support ne doivent pas modifier sensiblement la température du bain de brasure pendant l'immersion.

NOTE 2 Une contamination de la brasure par l'oxydation ou la présence de cuivre est susceptible d'affecter les résultats.

Dimensions en millimètres

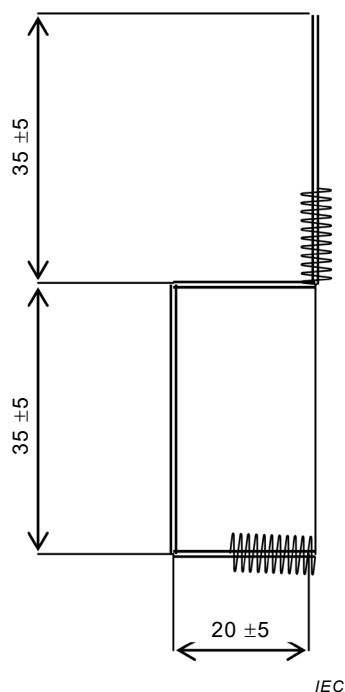


Figure 4 – Exemple de support pour l'essai de brasabilité

5.3 Procédure

L'éprouvette doit être tenue verticalement au-dessus du centre du bain maintenu à la température spécifiée dans la norme appropriée. L'extrémité inférieure doit être abaissée à (35 ± 5) mm au-dessous de la surface du bain. La position à laquelle l'éprouvette est immergée doit se situer à une distance d'environ 10 mm du point où la température est mesurée. Après avoir été immergée pendant le temps donné dans la feuille de spécification appropriée, l'éprouvette doit subir un mouvement latéral dans le bain avant d'être retirée de la brasure.

La surface du fil étamé doit être examinée avec un grossissement de 6 à 10. Dans le cas d'un fil de diamètre nominal du conducteur jusqu'à 0,100 mm inclus, l'examen doit être limité à la partie libre située à $(25 \pm 2,5)$ mm du centre entre les appuis. Dans le cas d'un fil de diamètre nominal du conducteur supérieur à 0,100 mm et d'un fil toronné, l'examen doit être limité aux 15 mm inférieurs du segment immergé dans le bain.

Trois éprouvettes doivent être soumises à essai. L'état de la surface du fil doit être noté.

6 Essai 20: Résistance à l'hydrolyse et à l'huile de transformateur

6.1 Généralités

Cet essai est applicable au fil de bobinage émaillé.

La résistance à l'hydrolyse est exprimée par l'aspect et l'adhérence des éprouvettes après exposition à l'huile de transformateur en présence d'eau sous pression et à température élevée.

La résistance à l'huile de transformateur est exprimée par la tension de claquage et la souplesse des éprouvettes après exposition à l'huile de transformateur sous pression et à température élevée.

NOTE L'eau est susceptible d'affecter le revêtement par dégradation hydrolytique et/ou par absorption. Si l'absorption seule apparaît, un séchage de l'éprouvette à $125\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ pendant 30 min avant l'essai de tension de claquage permettra à l'éprouvette de retrouver ses performances. Un fil de diamètre nominal du conducteur compris entre 0,800 mm et 1,500 mm a généralement été jugé convenable pour les manipulations et pour l'essai.

6.2 Fil de section circulaire

6.2.1 Equipement

L'équipement suivant doit être utilisé:

- deux tubes en verre de diamètre 25 mm et de longueur 300 mm qui peuvent être scellés;
- un récipient en acier inoxydable de volume compris entre 400 ml et 500 ml, pouvant supporter une pression de 6×10^6 Pa, de préférence sans soudure et équipé d'une régulation de chauffage;
- de l'huile de transformateur conforme à l'IEC 60296;
- du papier conforme à l'IEC 60554-1, type 1.

6.2.2 Epreuves

Les éprouvettes suivantes doivent être préparées:

- 12 longueurs de fil droit d'une longueur d'environ deux tiers de la hauteur intérieure du récipient sous pression;
- 10 éprouvettes torsadées préparées conformément à 4.4.1 de l'IEC 60851-5:2008 pour les conducteurs de diamètre nominal jusqu'à 2,500 mm inclus ou 10 éprouvettes droites soumises à essai conformément à 4.5.1 de l'IEC 60851-5:2008 pour les conducteurs de diamètre nominal supérieur à 2,500 mm;
- 3 éprouvettes enroulées sur mandrin préparées conformément à 5.1.1 de l'IEC 60851-3:2009 pour les conducteurs de diamètre nominal jusqu'à 1,600 mm inclus ou 3 éprouvettes droites soumises à essai conformément à 5.2 de l'IEC 60851-3:2009 pour les conducteurs de diamètre nominal supérieur à 1,600 mm.

6.2.3 Procédure

6.2.3.1 Résistance à l'hydrolyse

Six longueurs de fil droit préparées conformément à 6.2.2 sont placées dans le récipient sous pression ainsi qu'une quantité d'huile de transformateur séchée et dégazée suffisante pour occuper $(52,5 \pm 2,5)\%$ du volume du récipient sous pression. Le récipient sous pression doit être scellé et chauffé à $(150 \pm 3)\text{ °C}$ pendant (24 ± 1) h, puis laissé à refroidir à température ambiante avant d'être ouvert. Les éprouvettes doivent être examinées en vision normale. L'essai doit être répété avec une quantité d'eau égale à $(0,3 \pm 0,1)\%$ du volume d'huile utilisé, ajouté au récipient sous pression.

Un seul essai doit être réalisé. Tout changement d'aspect et d'adhérence doit être noté.

6.2.3.2 Résistance à l'huile de transformateur

En fonction du diamètre et conformément à 6.2.2, le récipient sous pression doit contenir 10 éprouvettes torsadées ou droites, trois éprouvettes enroulées sur mandrin ou éprouvettes droites et des longueurs de fil supplémentaires pour obtenir le volume de revêtement spécifié dans le Tableau 2.

NOTE La masse totale de fil en grammes qui donne le volume exigé d'email peut être calculée approximativement par la formule:

$$M = \frac{Y \times V}{600 \times \delta \times D}$$

où

V est le volume du récipient sous pression en millilitres;

Y est la masse de 1 m de fil en grammes;

δ est l'accroissement de diamètre dû au revêtement en millimètres;

D est le diamètre extérieur du fil en millimètres.

Le récipient sous pression doit être chargé selon les éléments et les quantités spécifiées dans le Tableau 2. L'huile et le papier doivent être séchés juste avant leur ajout, et l'huile dégazée à une pression de 2 kPa pendant (16 ± 1) h à (90 ± 3) °C ou pendant $(4 \pm 0,30)$ h à (105 ± 3) °C.

Tableau 2 – Volume des composants

Élément	Volume du récipient %
Huile de transformateur	65 ± 5
Papier	4 ± 1
Revêtement	$0,275 \pm 0,075$
Acier	^a
^a Selon accord entre l'acheteur et le fournisseur.	

Le récipient scellé supportant la pression doit être chauffé à la température de la classe du fil ± 3 °C, ou à (150 ± 3) °C si la température de la classe est supérieure à 150 °C, et maintenue pendant $(1\,000 \pm 10)$ h. Le récipient sous pression doit ensuite être laissé à refroidir à température ambiante, puis être ramené à la pression ordinaire et ouvert. Cinq des 10 éprouvettes doivent être soumises aux essais à (105 ± 3) °C pour la tension de claquage avec les échantillons dans l'air selon 4.4.2 ou 4.5.2 de l'IEC 60851-5:2008, en fonction du diamètre du conducteur. Les cinq éprouvettes restantes sur les 10 doivent être séchées à (125 ± 3) °C pendant (30 ± 5) min, puis laissées à refroidir à température ambiante et ensuite être soumises aux essais à (105 ± 3) °C pour la tension de claquage dans l'air selon 4.4.2 ou 4.5.2 de l'IEC 60851-5:2008, en fonction du diamètre du conducteur.

Les trois éprouvettes doivent être examinées en vue de déceler les craquelures éventuelles selon 5.1.1.1 ou 5.2 de l'IEC 60851-3:2009, en fonction du diamètre du conducteur.

Un seul essai doit être réalisé. Chaque valeur de tension de claquage ainsi que les craquelures éventuelles doivent être notées.

6.3 Fil de section rectangulaire

6.3.1 Equipement

L'équipement décrit en 6.2.1 doit être utilisé.

6.3.2 Eprouvettes

Les éprouvettes suivantes doivent être préparées:

- 10 longueurs de fil droit d'une longueur d'environ deux tiers de la hauteur intérieure du récipient sous pression;
- quatre éprouvettes en forme de U préparées conformément à 4.7.1 de l'IEC 60851-5:2008;
- deux éprouvettes enroulées sur mandrin préparées conformément à 5.1.2 de l'IEC 60851-3:2009.

6.3.3 Procédure

6.3.3.1 Résistance à l'hydrolyse

Chacun des tubes doit être chargé avec cinq longueurs de fil droit conformes à 6.3.2 et avec 80 ml d'huile de transformateur séchée et dégazée. Dans l'un des tubes, $(0,24 \pm 0,01)$ ml d'eau distillée doivent être ajoutés. Les deux tubes doivent être scellés et placés dans une étuve pendant 24 h à $(150 \pm 3)^\circ\text{C}$. Les tubes doivent alors être retirés de l'étuve et laissés à refroidir à température ambiante puis ouverts. Les éprouvettes doivent être examinées en vision normale.

Un seul essai doit être effectué. Les changements d'aspect et d'adhérence doivent être notés.

6.3.3.2 Résistance à l'huile de transformateur

Le récipient sous pression doit contenir quatre éprouvettes en forme de U, deux éprouvettes enroulées sur mandrin et des longueurs de fil supplémentaires pour obtenir le volume de revêtement spécifié dans le Tableau 2.

NOTE La masse totale de fil en grammes qui donne le volume exigé d'email peut être calculée approximativement par la formule:

$$M = \frac{Y \times V}{385 \times \delta \times (W + T)}$$

où

V est le volume du récipient sous pression en millilitres;

Y est la masse de 1 m de fil en grammes;

δ est l'accroissement d'épaisseur dû au revêtement en millimètres;

W est la largeur extérieure du fil en millimètres;

T est l'épaisseur extérieure du fil en millimètres.

Le récipient sous pression doit ensuite être chargé, selon les quantités spécifiées dans le Tableau 2, avec de l'huile et du papier, qui doivent avoir été séchés séparément immédiatement avant l'ajout à une pression maximale de 2 kPa pendant (16 ± 1) h à $(90 \pm 3)^\circ\text{C}$ ou pendant $(4 \pm 0,1)$ h à $(105 \pm 3)^\circ\text{C}$. Le récipient scellé supportant la pression doit être chauffé à la température de classe du fil $\pm 3^\circ\text{C}$, ou à $(150 \pm 3)^\circ\text{C}$ si la température de classe est supérieure à 150°C , et maintenue pendant $(1\,000 \pm 10)$ h. Le récipient sous pression doit ensuite être laissé à refroidir à température ambiante, puis être ramené à la pression ordinaire et ouvert. Deux des éprouvettes en forme de U doivent être soumises à essai pour une tension de claquage dans l'air à $(105 \pm 3)^\circ\text{C}$ selon 4.7.2 de l'IEC 60851-5:2008. Les deux éprouvettes en forme de U restantes doivent être séchées à $(125 \pm 3)^\circ\text{C}$ pendant (30 ± 5) min, puis laissées à refroidir jusqu'à température ambiante et ensuite soumises à essai à $(105 \pm 3)^\circ\text{C}$ pour une tension de claquage dans l'air conformément à 4.7.2 de l'IEC 60851-5:2008.

Les éprouvettes enroulées sur mandrin doivent être examinées en vue de déceler les craquelures éventuelles selon 5.1.2 de l'IEC 60851-3:2009.

Un seul essai doit être réalisé. Chaque valeur de tension de claquage ainsi que les craquelures éventuelles doivent être notées.

Annexe A (informative)

Réfrigérants de remplacement pour le monochlorodifluorométhane

Le Tableau A.1 fournit une liste de réfrigérants de remplacement pour le monochlorodifluorométhane (R 22) dont l'étude a montré qu'ils étaient adaptés pour une utilisation dans le cadre de l'Essai 16.

Pour des raisons de sécurité, et afin d'assurer leur application correcte durant les essais, les valeurs des données critiques du présent tableau sont recommandées.

Tableau A.1 – Réfrigérants de remplacement pour le R 22

Réfrigérant	Composition (Pourcentage du poids)	Formule	Point d'ébullition	Pression critique	Température critique
			°C	MPa	°C
R 22	Monochlorodifluorométhane	CHClF ₂	−41	5,0	96,2
R 134a	1,1,1,2 Tétrafluoroéthane	CH ₂ FCF ₃	−26	4,1	101,1
R 404a	Pentafluoroéthane – 44 %	CF ₃ -CHF ₂	−47	3,7	72,1
	1,1,1 Trifluoroéthane – 52 %	CF ₃ -CH ₃			
	1,1,1,2 Tétrafluoroéthane – 4 %	CF ₃ CH ₂ F			
R 407c	R 32 – 23 %	CH ₂ F ₂	−44	4,6	86,7
	R 125 – 25 %	C ₂ HF ₅			
	R 134a – 52 %	CH ₂ FCF ₃			
R 410a	R 32 – 50 %	CH ₂ F ₂	−52	4,9	71,8
	R 125 – 50 %	C ₂ HF ₅			
R 507	R 125 – 50 %	C ₂ HF ₅	−47	3,8	70,9
	R 134a – 50 %	CH ₂ FCF ₃			
Une consultation avec le fabricant du réfrigérant est recommandée pour l'obtention de données actualisées.					

Bibliographie

IEC 60264 (toutes les parties), *Conditionnement des fils de bobinage*

IEC 60317 (toutes les parties), *Spécifications pour types particuliers de fils de bobinage*

IEC 60851 (toutes les parties), *Fils de bobinage – Méthodes d'essai*

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