

# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE



---

**Solderless connections –**

**Part 9: Ultrasonically welded connections – General requirements, test methods and practical guidance**

**Connexions sans soudure –**

**Partie 9: Connexions soudées par ultrasons – Exigences générales, méthodes d'essai et guide pratique**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

---

ICS 31.220.10, 29.120.20

ISBN 978-2-8322-8216-8

**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.....	7
INTRODUCTION.....	9
1 Scope.....	10
2 Normative references .....	10
3 Terms and definitions .....	12
4 Wire and terminal information .....	16
4.1 Conductor materials.....	16
4.2 Conductor surface coating .....	16
5 Requirements for ultrasonic welding .....	16
5.1 Examples of ultrasonically welded connections.....	16
5.2 General requirements .....	19
5.3 Influence of wire length for welds at the other end of terminal connections .....	20
5.4 Design requirements.....	20
5.5 Mechanical and electrical protection of the weld package .....	22
5.6 Conductor combinations – requirements .....	23
5.7 Compaction ratio of ultrasonically welded connections .....	23
6 Specimens.....	25
6.1 General.....	25
6.2 Type A1 or A2 specimen .....	25
6.3 Type B1 or B2 specimen .....	25
6.4 Type C specimen .....	26
6.5 Type D specimen .....	27
7 Tests .....	27
7.1 General information about tests .....	27
7.1.1 General conditions for product qualification tests .....	27
7.1.2 Pre-conditioning .....	27
7.1.3 Recovery .....	27
7.2 Visual optical inspection (VOI) with dimensional checks.....	27
7.2.1 General .....	27
7.2.2 Magnification aids (visual optical inspection, VOI) .....	28
7.2.3 Visual inspection of the ultrasonic splice welding.....	28
7.2.4 Visual inspection of ultrasonically welded wire to terminal .....	29
7.3 Mechanical tests.....	31
7.3.1 Bending test inline splice .....	31
7.3.2 Bending test on ultrasonically welded wire to terminal .....	32
7.3.3 Peel test of the splice .....	32
7.3.4 Peel tests of the terminal-welded package.....	35
7.3.5 Pull-out force tests on ultrasonic splice-welded connections .....	36
7.3.6 Pull-out force tests of ultrasonically welded wire-to-terminal connections.....	38
7.3.7 Vibration test of ultrasonically welded splice connections .....	41
7.3.8 Vibration test of ultrasonically welded wire-to-terminal connections .....	42
7.3.9 Compaction force test of end splices .....	43
7.4 Microsection image inspections.....	44
7.5 Electrical tests .....	45
7.5.1 Voltage drop of the through or end splice (resistance) .....	45
7.5.2 Voltage drop of the wire-to-terminal connection (resistance).....	46

7.5.3	Current-carrying capacity.....	47
7.5.4	Insulation resistance.....	49
7.5.5	Voltage proof.....	49
8	Climatic tests.....	50
8.1	General information on climatic tests.....	50
8.2	Rapid change of temperature.....	50
8.3	Dry heat.....	51
8.4	Cold.....	51
8.5	Damp heat.....	51
8.6	Climatic sequence.....	52
8.7	Flowing mixed gas corrosion.....	52
9	Classification into product classes.....	53
9.1	General.....	53
9.2	Class A product.....	53
9.3	Class B product.....	53
9.4	Class C product.....	53
10	Test schedules.....	53
10.1	Test schedule A (class A products, see 9.2).....	53
10.2	Test schedule B (class B product, see 9.3).....	54
10.2.1	General.....	54
10.2.2	Mechanical tests of test schedule B.....	54
10.2.3	Electrical tests of test schedule B.....	55
10.2.4	Microsection tests of test schedule B.....	56
10.3	Test schedule C (class C products, see 9.4).....	56
10.3.1	General.....	56
10.3.2	Mechanical tests according to test schedule C.....	57
10.3.3	Electrical tests according to test schedule C.....	57
10.3.4	Microsection of test schedule C.....	58
10.3.5	Climatic test for test schedule C.....	58
11	Additional applicable test groups (if required).....	59
11.1	Dry heat test and voltage proof.....	59
11.2	Corrosion.....	59
12	Flow charts.....	60
Annex A	(informative) Practical guidance.....	64
A.1	Ultrasonic welding system.....	64
A.2	Storage conditions and processing conditions.....	64
A.3	Processing technique.....	65
A.3.1	General tooling technology requirements.....	65
A.3.2	Monitoring.....	65
Bibliography	.....	66

Figure 1	– Ultrasonic welding machine designed to make splices between at least two wires.....	13
Figure 2	– Ultrasonically welded splice of two wires protected by a shrinking tube.....	14
Figure 3	– Top view of an ultrasonically welded wire on a terminal.....	14
Figure 4	– Side view of an ultrasonically welded wire on a terminal.....	15
Figure 5	– Ultrasonically welded end compaction.....	15

Figure 6 – Ultrasonically welded end splice connection.....	16
Figure 7 – Welding zone (1) for two stripped wires with heat shrink tubing (2) for insulation .....	17
Figure 8 – Ultrasonically welded end compaction .....	17
Figure 9 – Ultrasonically welded end splice.....	17
Figure 10 – Ultrasonically welded inline splice Cu-Al .....	17
Figure 11 – Ultrasonically welded inline splice Cu-Cu .....	17
Figure 12 – Example 1 of ultrasonic welding on terminals .....	18
Figure 13 – Example 2 of ultrasonic welding on terminals .....	18
Figure 14 – Example 3 of ultrasonic welding on terminals .....	18
Figure 15 – Example 4 of ultrasonic welding on terminals .....	18
Figure 16 – Example of multiple wires welded to one terminals .....	18
Figure 17 – Illustration of the conductor length (3) between terminal (2) and welded package (1) .....	20
Figure 18 – Cross-sectional view of ultrasonic propagation through the sonotrode in the welding room, against passive surfaces with and without gap between the tools .....	20
Figure 19 – Cross-sectional view of recommended asymmetrical insertion for the individual conductors above the sonotrode in the welding room .....	21
Figure 20 – Cross-sectional alternative view of the recommended asymmetrical insertion for the individual conductors above the sonotrode .....	21
Figure 21 – Insulation measures at the inline splice from one conductor to several conductors .....	22
Figure 22 – Insulation measures at the feed-inline splice with several conductors on both sides .....	22
Figure 23 – Insulation measures at the end splice with several conductors (end sealed).....	23
Figure 24 – Cu-wire compaction ratio from strong to weak layout.....	24
Figure 25 – Conductor before and after welding .....	24
Figure 26 – Type A1 specimen.....	25
Figure 27 – Type A2 specimen.....	25
Figure 28 – Type B1 specimen, inline splice with two wires type 1 and type 2 .....	26
Figure 29 – Type B2 specimen.....	26
Figure 30 – Type C specimen, end-splice connection with type 3 and type 4 wires .....	26
Figure 31 – Type D specimen at the wire to terminal connection .....	27
Figure 32 – Measurement of the ultrasonic weld height.....	30
Figure 33 – Measurement of the ultrasonic weld width (2).....	30
Figure 34 – Bending test setup schematic illustration.....	32
Figure 35 – Terminal bending test setup schematic illustration.....	32
Figure 36 – Test setup for peel tests .....	33
Figure 37 – Test setup for the peel test, fixation (4), side fixations with a protrusion of 1,0 mm each on the terminal surface, ultrasonically welded package (1), terminal (3).....	35
Figure 38 – Test setup for pull-out force test.....	36
Figure 39 – Test setup for the pull-out force test on welds with electrical conductors on terminal .....	39
Figure 40 – Test setup for vibration test of the splice .....	41
Figure 41 – Setup for vibration test of the ultrasonically welded package (1), vibration table (5), fixtures (2), terminal (4), reference wire with counter-contact connector (7) .....	42

Figure 42 – Aluminium single wire end splice (wire end compacted) .....	43
Figure 44 – Medium copper single wire end splice (wire end compacted).....	43
Figure 45 – Large copper single wire end splice (wire end compacted) .....	43
Figure 46 – Examples of test clamps of different sizes .....	43
Figure 47 – Example 1 of a valid microsection image of ultrasonically welded copper strands .....	44
Figure 48 – Example 2 of a valid microsection image of ultrasonically welded copper strands .....	45
Figure 49 – Example 3 of a valid microsection image of ultrasonically welded copper strands .....	45
Figure 50 – Set-up for measurement at the splice (from 2 to 20 wires).....	45
Figure 51 – Measurements of reference wires type 1 and type 2 .....	45
Figure 52 – Setup for voltage drop measurement ( $U_1$ ), at the terminal weld connections .....	46
Figure 53 – Voltage drop measurement ( $U_2$ ) with the same reference wire (1).....	47
Figure 54 – Setup for temperature rise measurements at current load .....	48
Figure 55 – Temperature chamber with valve opening for current-load measurements .....	49
Figure 56 – Diagram of dielectric voltage withstanding (voltage proof) test .....	50
Figure 57 – Test schedule A .....	60
Figure 58 – Test Schedule B.....	61
Figure 59 – Test schedule C part 1 .....	62
Figure 60 – Test schedule C part 2 .....	63
Figure A.1 – Ultrasonic welding process: 1) longitudinal, 2) torsional .....	64
Table 1 – Ultrasonically welded packages suggested values .....	22
Table 2 – Conductor combinations .....	23
Table 3 – Magnification suggestions for visual inspection .....	28
Table 4 – Example of good welds for end splices and inline splices .....	28
Table 5 – Representation of error characteristics for end splices and inline splices.....	29
Table 6 – Valid features of ultrasonically welded wire on terminal .....	30
Table 7 – Non-valid features of ultrasonically welded wire on terminal .....	31
Table 8 – Peel force values for ultrasonically welded splices of copper wires.....	33
Table 9 – Peel force values for ultrasonically welded splices of aluminium wires.....	34
Table 10 – Peel force values for ultrasonically welded copper wires on terminals .....	35
Table 11 – Peel force values for ultrasonically welded aluminium wires on terminals .....	36
Table 12 – Pull-out force values for ultrasonically welded splices of copper wires .....	37
Table 13 – Pull-out force values for ultrasonically welded splices of aluminium wires.....	38
Table 14 – Pull-out force values for ultrasonically welded copper wires on terminals .....	39
Table 15 – Dependence of package width on conductor cross-sectional area for copper wires (recommended) .....	40
Table 16 – Pull-out force values for ultrasonically welded aluminium wires on terminals .....	40
Table 17 – Dependence of package width on conductor cross-sectional area for aluminium wires (recommended).....	41
Table 18 – Vibration test (sinusoidal) parameters of ultrasonically welded splice connections .....	42

Table 19 – Requirements for single end compaction test .....	44
Table 20 – Test voltages for voltage proof test.....	50
Table 21 – Test group P0 – Initial inspection.....	53
Table 22 – Test group P1 – Bending test .....	54
Table 23 – Test group P2 – Peel test according to ISO 10447.....	55
Table 24 – Test group P3 – Pull-out force test .....	55
Table 25 – Test group P4 – Compaction-force for single wire end-splices .....	55
Table 26 – Test group P6 – Voltage drop (resistance).....	55
Table 27 – Test group P7 – Insulation resistance .....	55
Table 28 – Test group P10 – Microsection .....	56
Table 29 – Test group P0 – Initial inspection.....	56
Table 30 – Test group P2 – Peel tests .....	57
Table 31 – Test group P3 – Pull-out force tests.....	57
Table 32 – Test group P4 – Compaction-force test for single wire end-splices .....	57
Table 33 – Test group P5 – Vibration test (sinusoidal) .....	57
Table 34 – Test group P6 – Voltage drop (resistance).....	57
Table 35 – Test group P7 – Insulation resistance .....	58
Table 36 – Test group P8 – Current-carrying capacity.....	58
Table 37 – Test group P10 – Microsection .....	58
Table 38 – Test group P11 – Climatic tests .....	58
Table 39 – Test group P9 – Voltage proof.....	59
Table 40 – Test group P12 – Corrosion.....	59

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**SOLDERLESS CONNECTIONS –****Part 9: Ultrasonically welded connections –  
General requirements, test methods and practical guidance**

## 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) IEC draws attention to the possibility that the implementation of this document may involve the use of (a) patent(s). IEC takes no position concerning the evidence, validity or applicability of any claimed patent rights in respect thereof. As of the date of publication of this document, IEC had not received notice of (a) patent(s), which may be required to implement this document. However, implementers are cautioned that this may not represent the latest information, which may be obtained from the patent database available at <https://patents.iec.ch>. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

IEC 60352-9 has been prepared by subcommittee 48B: Electrical connectors, of IEC technical committee 48: Electrical connectors and mechanical structures for electrical and electronic equipment. It is an International Standard.

The text of this International Standard is based on the following documents:

Draft	Report on voting
48B/3080/FDIS	48B/3084/RVD

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

The language used for the development of this International Standard is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at [www.iec.ch/members\\_experts/refdocs](http://www.iec.ch/members_experts/refdocs). The main document types developed by IEC are described in greater detail at [www.iec.ch/publications](http://www.iec.ch/publications).

A list of all parts in the IEC 60352 series, published under the general title *Solderless connections*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under [webstore.iec.ch](http://webstore.iec.ch) in the data related to the specific document. At this date, the document will be

- reconfirmed,
- withdrawn, or
- revised.

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

## INTRODUCTION

This part of IEC 60352 covers ultrasonically welded connections and includes requirements, tests and practical guidance information.

Ultrasonic welding is a form of cold friction welding that is becoming increasingly popular in many industries. This type of welding uses ultrasonic vibration to join materials together, creating a bond that is both strong and reliable. Ultrasonic welding has been identified as a process in ISO 4063-41 by the International Organization for Standardization (ISO).

The process of ultrasonic welding relies on high frequency ultrasound waves being used to create frictional heat at the connection point. High temperature is not required for this special method of welding, making it one of the most cost-effective ways to join two materials together.

It also requires fewer steps than traditional methods, meaning it can be completed quickly and with minimal resources.

Ultrasonic welding has been around for decades but only recently has become more widely utilized due to advances in technology and its availability at lower cost. It can be used on many different materials including plastics, rubbers, metals, textiles, and composites. Due to its precision and strong bonds it creates, it has become extremely popular in manufacturing processes such as automotive industry, electronics industry, furniture production and even medical device production.

This document outlines a system of product classification according to the intended use of the end-product. Three general end-product levels, known as class A, B, and C products, are identified. Class A products are for general use and include consumer products, computers, and computer peripherals for applications where the major requirement is function of the assembly. Class B products are dedicated service electronic items providing high performance and extended life. Finally, Class C products are for high performance with zero tolerance for equipment downtime; this includes life support systems and other critical systems. The developer or user of ultrasonically welded connections should determine the class to which their end-product belongs.

This document outlines the test requirements for ultrasonically welded connections deemed to be used in class A, B and C products. Test groups P0-P11 are specified, with additional optional test groups P9 and P12 available if required by the manufacturer and user.

Three test schedules – A (basic), B (intermediate) and C (full) - are provided, based on a specific selection of test groups, each representing the minimum requirements for each correspondingly identified end-product class.

## **SOLDERLESS CONNECTIONS –**

### **Part 9: Ultrasonically welded connections – General requirements, test methods and practical guidance**

#### **1 Scope**

This part of IEC 60352 covers ultrasonically welded connections and includes requirements, tests and practical guidance information.

This document covers ultrasonically welded connections made with stranded or flexible wires (class 2, 5 or 6 per IEC 60228) of copper or copper alloy, as well as of aluminium or aluminium alloy.

These welded metal-to-metal connections shall employ wires with cross-sectional area of 0,08 mm<sup>2</sup> to 160 mm<sup>2</sup> and shall not exceed a total cross-sectional area, in case of wire bundle, of 200 mm<sup>2</sup>.

For aluminium or aluminium alloy wires, the minimum required cross-sectional area is 2,5 mm<sup>2</sup>.

Additionally, information on materials, data from industrial experience and test procedures are included to ensure electrically stable connections under prescribed environmental conditions.

Lastly, this document aims to achieve comparable results when using ultrasonic welding equipment with similar performance and specifications as specified by the termination manufacturer.

NOTE Figures in this document show examples of possible solutions of ultrasonically welded connections of rectangular shape, but solutions are not restricted to the shape displayed.

#### **2 Normative references**

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements 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 60050-581, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 581 – Electromechanical components for electronic equipment*

IEC 60068-1:2013, *Environmental testing – Part 1: General and guidance*

IEC 60068-2-1, *Environmental testing – Part 2-1: Tests – Test A: Cold*

IEC 60068-2-2, *Environmental testing – Part 2-2: Tests – Test B: Dry heat*

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

IEC 60068-2-14, *Environmental testing – Part 2-14: Tests – Test N: Change of temperature*

IEC 60068-2-30, *Environmental testing – Part 2-30: Tests – Test Db: Damp heat, cyclic (12 h + 12 h cycle)*

IEC 60068-2-60, *Environmental testing – Part 2-60: Tests – Test Ke: Flowing mixed gas corrosion test*

IEC 60228, *Conductors of insulated cables*

IEC 60512-1, *Connectors for electrical and electronic equipment – Tests and measurements – Part 1: Generic specification*

IEC 60512-1-1, *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 1-1: General examination – Test 1a: Visual examination*

IEC 60512-1-2, *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 1-2: General examination – Test 1b: Examination of dimension and mass*

IEC 60512-2-1, *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 2-1: Electrical continuity and contact resistance tests – Test 2a: Contact resistance – Millivolt level method*

IEC 60512-2-2, *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 2-2: Electrical continuity and contact resistance tests – Test 2b: Contact resistance – Specified test current method*

IEC 60512-2-5, *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 2-5: Electrical continuity and contact resistance tests – Test 2e: Contact disturbance*

IEC 60512-3-1, *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 3-1: Insulation tests – Test 3a: Insulation resistance*

IEC 60512-4-1, *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 4-1: Voltage stress tests – Test 4a: Voltage proof*

IEC 60512-5-2, *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 5-2: Current-carrying capacity tests – Test 5b: Current-temperature derating*

IEC 60512-6-4, *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 6-4: Dynamic stress tests – Test 6d: Vibration (sinusoidal)*

IEC 60512-11-1, *Connectors for electrical and electronic equipment – Tests and measurements – Part 11-1: Climatic tests – Test 11a – Climatic sequence*

IEC 60512-11-4, *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 11-4: Climatic tests – Test 11d: Rapid change of temperature*

IEC 60512-11-7, *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 11-7: Climatic tests – Test 11g: Flowing mixed gas corrosion test*

IEC 60512-11-9, *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 11-9: Climatic tests – Test 11i: Dry heat*

IEC 60512-11-10, *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 11-10: Climatic tests – Test 11j: Cold*

IEC 60512-11-12, *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 11-12: Climatic tests – Test 11m: Damp heat, cyclic*

IEC 60512-16-4, *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 16-4: Mechanical tests on contacts and terminations – Test 16d: Tensile strength (crimped connections)*

IEC 60512-16-7, *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 16-7: Mechanical tests on contacts and terminations – Test 16g: Measurement of contact deformation after crimping*

IEC 60947-1:2020, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 1: General rules*

IEC 60999-1, *Connecting devices – Electrical copper conductors – Safety requirements for screw-type and screwless-type clamping units – Part 1: General requirements and particular requirements for clamping units for conductors from 0,2 mm<sup>2</sup> up to 35 mm<sup>2</sup> (included)*

IEC 61191-1:2018, *Printed board assemblies – Part 1: Generic specification – Requirements for soldered electrical and electronic assemblies using surface mount and related assembly technologies*

ISO 1463:2021, *Metallic and oxide coatings – Measurement of coating thickness –*

*Microscopical method*

ISO 6722-1, *Road vehicles – 60 V and 600 V single-core cables – Part 1: Dimensions, test methods and requirements for copper conductor cables*

ISO 6722-2, *Road vehicles – 60 V and 600 V single-core cables – Part 2: Dimensions, test methods and requirements for aluminium conductor cables*

ISO 10447, *Resistance welding – Testing of welds – Peel and chisel testing of resistance spot and projection welds*

ISO 21747:2006, *Statistical methods – Process performance and capability statistics for measured quality characteristics*

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS .....	73
INTRODUCTION.....	75
1 Domaine d'application .....	76
2 Références normatives .....	76
3 Termes et définitions .....	78
4 Informations sur les fils et les sorties.....	82
4.1 Matériaux des âmes.....	82
4.2 Revêtement de surface des âmes .....	82
5 Exigences relatives au soudage par ultrasons .....	83
5.1 Exemples de connexions soudées par ultrasons .....	83
5.2 Exigences générales.....	85
5.3 Influence de la longueur de fil pour les soudures à l'autre extrémité des connexions des sorties .....	86
5.4 Exigences de conception .....	86
5.5 Protection mécanique et électrique de la jonction soudée .....	88
5.6 Âmes combinées – Exigences.....	89
5.7 Rapport de compactage des connexions soudées par ultrasons.....	90
6 Spécimens.....	92
6.1 Généralités .....	92
6.2 Spécimen de type A1 ou A2.....	92
6.3 Spécimen de type B1 ou B2.....	93
6.4 Spécimen de type C.....	93
6.5 Spécimen de type D.....	94
7 Essais .....	94
7.1 Informations générales sur les essais .....	94
7.1.1 Conditions générales pour les essais de qualification de produits .....	94
7.1.2 Préconditionnement.....	94
7.1.3 Rétablissement.....	95
7.2 Examen optique visuel avec vérifications dimensionnelles .....	95
7.2.1 Généralités.....	95
7.2.2 Instruments grossissants (examen optique visuel) .....	95
7.2.3 Examen visuel d'un soudage par ultrasons d'une épissure .....	95
7.2.4 Examen visuel du soudage par ultrasons d'un fil à une sortie .....	96
7.3 Essais mécaniques .....	100
7.3.1 Essai de courbure d'épissure en ligne .....	100
7.3.2 Essai de courbure d'un fil soudé par ultrasons sur une sortie .....	100
7.3.3 Essai de pelage de l'épissure .....	101
7.3.4 Essais de pelage de la jonction soudée sur une sortie .....	103
7.3.5 Essais de force d'arrachement sur les connexions dont l'épissure est soudée par ultrasons .....	105
7.3.6 Essais de force d'arrachement sur les connexions d'un fil à une sortie soudées par ultrasons .....	107
7.3.7 Essai de vibration des connexions d'épissure soudées par ultrasons.....	111
7.3.8 Essai de vibrations sur les connexions d'un fil à une sortie soudées par ultrasons .....	112
7.3.9 Essai de force de compactage des épissures d'extrémité .....	113
7.4 Examen d'images de coupe micrographique .....	115

7.5	Essais électriques.....	116
7.5.1	Chute de tension au niveau de l'épissure en ligne ou d'extrémité (résistance) .....	116
7.5.2	Chute de tension au niveau d'une connexion d'un fil à une sortie (résistance) .....	117
7.5.3	Courant admissible .....	118
7.5.4	Résistance d'isolement.....	120
7.5.5	Tenue en tension.....	120
8	Essais climatiques .....	121
8.1	Informations générales sur les essais climatiques.....	121
8.2	Variations rapides de température .....	121
8.3	Chaleur sèche.....	122
8.4	Froid.....	122
8.5	Chaleur humide .....	122
8.6	Séquence climatique.....	123
8.7	Essai de corrosion dans un flux de mélange de gaz .....	123
9	Classification dans les classes de produits .....	124
9.1	Généralités .....	124
9.2	Produit de classe A.....	124
9.3	Produit de classe B.....	124
9.4	Produit de classe C.....	124
10	Programmes d'essais .....	124
10.1	Programme d'essais A (produits de classe A, voir en 9.2).....	124
10.2	Programme d'essais B (produits de classe B, voir en 9.3).....	125
10.2.1	Généralités.....	125
10.2.2	Essais mécaniques du programme d'essais B.....	126
10.2.3	Essais électriques du programme d'essais B .....	126
10.2.4	Essais en coupe micrographique du programme d'essais B .....	127
10.3	Programme d'essais C (produits de classe C, voir en 9.4) .....	127
10.3.1	Généralités.....	127
10.3.2	Essais mécaniques selon le programme d'essais C .....	128
10.3.3	Essais électriques selon le programme d'essais C.....	129
10.3.4	Coupe micrographique du programme d'essais C .....	130
10.3.5	Essais climatiques selon le programme d'essais C .....	130
11	Groupes d'essais supplémentaires applicables (si cela est exigé) .....	131
11.1	Essai de chaleur sèche et de tenue en tension .....	131
11.2	Corrosion.....	131
12	Tableaux synoptiques.....	132
	Annexe A (informative) Recommandations pratiques .....	136
A.1	Système de soudage par ultrasons .....	136
A.2	Conditions de stockage et conditions de traitement.....	137
A.3	Technique de traitement .....	137
A.3.1	Exigences générales relatives aux technologies d'outillage .....	137
A.3.2	Surveillance.....	137
	Bibliographie.....	138

Figure 1 – Machine de soudage par ultrasons conçue pour réaliser des épissures entre au moins deux fils..... 79

Figure 2 – Épissurage de deux fils soudés par ultrasons, protégé par une gaine thermorétractable.....	80
Figure 3 – Vue de dessus d'un fil soudé par ultrasons sur une sortie.....	80
Figure 4 – Vue latérale d'un fil soudé par ultrasons sur une sortie.....	81
Figure 5 – Compactage d'extrémité soudé par ultrasons.....	81
Figure 6 – Connexion d'extrémité soudée par ultrasons.....	82
Figure 7 – Zone de soudage (1) pour deux fils dénudés avec isolation à base de gaine thermorétractable (2).....	83
Figure 8 – Compactage d'extrémité soudé par ultrasons.....	83
Figure 9 – Épissure d'extrémité soudée par ultrasons.....	83
Figure 10 – Épissure en ligne cuivre-aluminium, soudée par ultrasons.....	83
Figure 11 – Épissure en ligne cuivre-cuivre, soudée par ultrasons.....	84
Figure 12 – Exemple 1 de soudage par ultrasons sur des sorties.....	84
Figure 13 – Exemple 2 de soudage par ultrasons sur des sorties.....	84
Figure 14 – Exemple 3 de soudage par ultrasons sur des sorties.....	84
Figure 15 – Exemple 4 de soudage par ultrasons sur des sorties.....	84
Figure 16 – Exemple de soudage de plusieurs fils sur une seule sortie.....	85
Figure 17 – Représentation de la longueur du conducteur (3) entre la sortie (2) et la jonction soudée (1).....	86
Figure 18 – Vue en coupe de la propagation des ultrasons à travers la sonotrode dans la chambre de soudage, contre les surfaces passives associées ou non à un écartement avec les outils.....	87
Figure 19 – Vue en coupe de l'insertion asymétrique recommandée pour les différentes âmes au-dessus de la sonotrode dans la chambre de soudage.....	87
Figure 20 – Vue en coupe en variante de l'insertion asymétrique recommandée pour les différentes âmes au-dessus de la sonotrode.....	88
Figure 21 – Cotes d'isolement au niveau de l'épissure en ligne reliant une âme à plusieurs âmes.....	89
Figure 22 – Cotes d'isolement au niveau de l'épissure en ligne centrale avec plusieurs âmes des deux côtés.....	89
Figure 23 – Cotes d'isolement au niveau de l'épissure d'extrémité avec plusieurs âmes (extrémité étanche).....	89
Figure 24 – Rapport de compactage d'un fil de cuivre, allant d'un rapport prononcé à un rapport faible.....	90
Figure 25 – Âme avant et après soudage.....	91
Figure 26 – Spécimen de type A1.....	92
Figure 27 – Spécimen de type A2.....	92
Figure 28 – Spécimen de type B1, épissure en ligne avec deux fils de type 1 et de type 2....	93
Figure 29 – Spécimen de type B2.....	93
Figure 30 – Spécimen de type C, connexion d'épissure d'extrémité avec fils de type 3 et de type 4.....	93
Figure 31 – Spécimen de type D, connexion d'un fil à une sortie.....	94
Figure 32 – Mesure de la hauteur de soudage par ultrasons.....	97
Figure 33 – Mesure de la largeur de soudage par ultrasons (2).....	97
Figure 34 – Représentation schématique du montage d'essai de courbure.....	100
Figure 35 – Représentation schématique du montage d'essai de courbure sur une sortie ...	100
Figure 36 – Montage d'essai pour les essais de pelage.....	101

Figure 37 – Montage d’essai pour l’essai de pelage mettant en œuvre la fixation (4), les fixations latérales avec pour chacune une saillie de 1,0 mm sur la surface de la sortie, la jonction soudée par ultrasons (1), la sortie (3).....	104
Figure 38 – Montage d’essai pour l’essai de force d’arrachement .....	105
Figure 39 – Montage d’essai pour l’essai de force d’arrachement sur les soudures avec des âmes électriques au niveau de la sortie.....	108
Figure 40 – Montage d’essai pour l’essai de vibrations de l’épaisseur.....	111
Figure 41 – Montage pour l’essai de vibrations mettant en œuvre la jonction soudée par ultrasons (1), la table de vibrations (5), les fixations (2), la sortie (4), le fil de référence avec connecteur de contre-contact (7) .....	112
Figure 42 – Épaisseur d’extrémité à un seul fil en aluminium (extrémité compactée).....	113
Figure 44 – Épaisseur d’extrémité à un seul fil en cuivre de moyenne section (extrémité compactée).....	113
Figure 45 – Épaisseur d’extrémité à un seul fil en cuivre de grande section (extrémité compactée).....	113
Figure 46 – Exemples de pinces d’essai de différentes tailles .....	114
Figure 47 – Exemple 1 d’une image de coupe micrographique valide de brins de cuivre soudés par ultrasons.....	115
Figure 48 – Exemple 2 d’une image de coupe micrographique valide de brins de cuivre soudés par ultrasons.....	115
Figure 49 – Exemple 3 d’une image de coupe micrographique valide de brins de cuivre soudés par ultrasons.....	115
Figure 50 – Montage pour la mesure au niveau de l’épaisseur (de 2 fils à 20 fils) .....	116
Figure 51 – Mesures des fils de référence de type 1 et de type 2.....	116
Figure 52 – Configuration pour la mesure de la chute de tension ( $U_1$ ), au niveau des connexions soudées des sorties .....	117
Figure 53 – Mesure de la chute de tension ( $U_2$ ) avec le même fil de référence (1).....	117
Figure 54 – Montage pour les mesures d’échauffement à la charge de courant.....	118
Figure 55 – Chambre de température avec ouverture à clapet pour les mesures de la charge de courant.....	119
Figure 56 – Schéma de l’essai de tenue à la tension diélectrique (tenue en tension) .....	121
Figure 57 – Programme d’essais A .....	132
Figure 58 – Programmes d’essais B.....	133
Figure 59 – Programme d’essais C, partie 1 .....	134
Figure 60 – Programme d’essais C, partie 2 .....	135
Figure A.1 – Procédé de soudage par ultrasons: 1) longitudinal, 2) torsionnel .....	136
Tableau 1 – Valeurs suggérées pour les jonctions soudées par ultrasons .....	88
Tableau 2 – Âmes combinées .....	90
Tableau 3 – Suggestions de grossissement pour l’examen visuel .....	95
Tableau 4 – Exemples de soudures conformes pour des épissures d’extrémité et en ligne ..	96
Tableau 5 – Représentation des caractéristiques d’erreur pour des épissures d’extrémité et en ligne.....	96
Tableau 6 – Caractéristiques valides d’un fil soudé par ultrasons sur une sortie .....	98
Tableau 7 – Caractéristiques non valides d’un fil soudé par ultrasons sur une sortie .....	99
Tableau 8 – Valeurs de la force de pelage pour les épissures de fils de cuivre soudées par ultrasons.....	102

Tableau 9 – Valeurs de la force de pelage pour les épissures de fils d'aluminium soudés par ultrasons.....	103
Tableau 10 – Valeurs de la force de pelage pour les fils de cuivre soudés par ultrasons sur des sorties.....	104
Tableau 11 – Valeurs de la force de pelage pour les fils d'aluminium soudés par ultrasons sur des sorties.....	105
Tableau 12 – Valeurs de la force d'arrachement pour les épissures de fils de cuivre soudés par ultrasons.....	106
Tableau 13 – Valeurs de la force d'arrachement pour les épissures de fils d'aluminium soudés par ultrasons.....	107
Tableau 14 – Valeurs de la force d'arrachement pour les fils de cuivre soudés par ultrasons sur des sorties.....	108
Tableau 15 – Rapport entre la largeur de jonction et la section d'âme des fils de cuivre (valeurs recommandées).....	109
Tableau 16 – Valeurs de la force d'arrachement pour les fils d'aluminium soudés par ultrasons sur des sorties.....	110
Tableau 17 – Rapport entre la largeur de jonction et la section d'âme des fils d'aluminium (valeurs recommandées).....	111
Tableau 18 – Paramètres d'essai de vibration (sinusoïdale) des connexions d'épissure soudées par ultrasons.....	112
Tableau 19 – Exigences relatives à l'essai de compactage d'une épissure d'extrémité à un seul fil.....	114
Tableau 20 – Tensions d'essai pour l'essai de tenue en tension.....	121
Tableau 21 – Groupe d'essais P0 – Examen initial.....	125
Tableau 22 – Groupe d'essais P1 – Essai de courbure.....	125
Tableau 23 – Groupe d'essais P2 – Essai de pelage conformément à l'ISO 10447.....	126
Tableau 24 – Groupe d'essais P3 – Essai de force d'arrachement.....	126
Tableau 25 – Groupe d'essais P4 – Force de compactage pour les épissures d'extrémité à un seul fil.....	126
Tableau 26 – Groupe d'essais P6 – Chute de tension (résistance).....	127
Tableau 27 – Groupe d'essais P7 – Résistance d'isolement.....	127
Tableau 28 – Groupe d'essais P10 – Coupe micrographique.....	127
Tableau 29 – Groupe d'essais P0 – Examen initial.....	128
Tableau 30 – Groupe d'essais P2 – Essais de pelage.....	128
Tableau 31 – Groupe d'essais P3 – Essais de force d'arrachement.....	129
Tableau 32 – Groupe d'essais P4 – Essai de force de compactage pour les épissures d'extrémité à un seul fil.....	129
Tableau 33 – Groupe d'essais P5 – Essai de vibrations (sinusoïdales).....	129
Tableau 34 – Groupe d'essais P6 – Chute de tension (résistance).....	129
Tableau 35 – Groupe d'essais P7 – Résistance d'isolement.....	130
Tableau 36 – Groupe d'essais P8 – Courant admissible.....	130
Tableau 37 – Groupe d'essais P10 – Coupe micrographique.....	130
Tableau 38 – Groupe d'essais P11 – Essais climatiques.....	130
Tableau 39 – Groupe d'essais P9 – Tenue en tension.....	131
Tableau 40 – Groupe d'essais P12 – Corrosion.....	131

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

## CONNEXIONS SANS SOUDURE –

**Partie 9: Connexions soudées par ultrasons –  
Exigences générales, méthodes d'essai et guide pratique**

## AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Électrotechnique 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. À 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'IEC attire l'attention sur le fait que la mise en application du présent document peut entraîner l'utilisation d'un ou de plusieurs brevets. L'IEC ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à l'applicabilité de tout droit de propriété revendiqué à cet égard. À la date de publication du présent document, l'IEC [avait/n'avait pas] reçu notification qu'un ou plusieurs brevets pouvaient être nécessaires à sa mise en application. Toutefois, il y a lieu d'avertir les responsables de la mise en application du présent document que des informations plus récentes sont susceptibles de figurer dans la base de données de brevets, disponible à l'adresse <https://patents.iec.ch>. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets.

L'IEC 60352-9 a été établie par le sous-comité 48B: Connecteurs électriques, du comité d'études 48 de l'IEC: Connecteurs électriques et structures mécaniques pour les équipements électriques et électroniques. Il s'agit d'une .0Norme internationale.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
48B/3080/FDIS	48B/3084/RVD

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

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous [www.iec.ch/members\\_experts/refdocs](http://www.iec.ch/members_experts/refdocs). Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous [www.iec.ch/publications](http://www.iec.ch/publications).

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60352, publiées sous le titre général *Connexions sans soudure*, se trouve sur le site Web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site Web de l'IEC sous [webstore.iec.ch](http://webstore.iec.ch) dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé, ou
- révisé.

**IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de ce document 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 l'IEC 60352 couvre les connexions soudées par ultrasons et inclut des informations sur les exigences, les essais et les recommandations pratiques.

Le soudage par ultrasons est une forme de soudage par friction à froid qui est de plus en plus répandue dans de nombreux secteurs d'activité. Ce type de soudage utilise des vibrations ultrasoniques pour joindre les matériaux entre eux, en créant une liaison à la fois résistante et fiable. Le soudage par ultrasons a été identifié par l'Organisation internationale de normalisation (ISO) comme un procédé dans l'ISO 4063-41.

Le procédé de soudage par ultrasons s'appuie sur les ondes ultrasoniques haute fréquence utilisées pour générer une chaleur de friction au point de connexion. Il n'est pas exigé de température élevée pour cette méthode de soudage particulière, ce qui en fait l'une des façons les plus économiques de solidariser deux matériaux.

Ce procédé exige également moins d'étapes que les méthodes conventionnelles, ce qui signifie qu'il peut être achevé rapidement et en sollicitant un minimum de ressources.

Le soudage par ultrasons existe depuis des décennies, mais ce n'est que récemment que son usage est devenu plus répandu, en raison des avancées technologiques du procédé et de sa disponibilité à moindre coût. Il peut être utilisé sur de nombreux matériaux, comprenant les plastiques, les caoutchoucs, les métaux, les textiles et les matériaux composites. En raison de sa précision et de la résistance des liaisons qu'il définit, il est devenu extrêmement répandu dans les procédés de fabrication tels que ceux de l'industrie automobile, de l'électronique, de la fabrication de mobilier et même de la fabrication de dispositifs médicaux.

Le présent document décrit un système de classification de produits selon l'utilisation prévue du produit final. Trois niveaux génériques de produits finaux sont identifiés: les produits de classe A, de classe B et ceux de classe C. Les produits de classe A sont destinés à un usage général, et comprennent les biens de consommation, les ordinateurs et les périphériques informatiques, pour lesquels l'exigence majeure est la fonction de l'assemblage. Les produits de classe B sont des éléments électroniques de service spécifiques, qui offrent des performances élevées et une durée de vie étendue. Enfin, les produits de classe C ciblent des performances élevées associées à une tolérance zéro sur les temps d'arrêt des équipements; ils incluent les systèmes de maintien de la vie et les autres systèmes critiques. Il convient que le développeur ou l'utilisateur de connexions soudées par ultrasons détermine la classe à laquelle appartient son produit final.

Le présent document décrit les exigences d'essai relatives aux connexions soudées par ultrasons destinées à être utilisées dans des produits de classe A, B ou C. Des groupes d'essai P0 à P11 sont spécifiés, avec des groupes d'essai supplémentaires facultatifs P9 et P12, si cela est exigé par le fabricant et l'utilisateur.

Trois programmes d'essais – A (basique), B (intermédiaire) et C (complet) – sont fournis, sur la base d'une sélection spécifique de groupes d'essai, chacun représentant les exigences minimales pour chaque classe de produits finis identifiée correspondante.

## CONNEXIONS SANS SOUDURE –

### Partie 9: Connexions soudées par ultrasons – Exigences générales, méthodes d'essai et guide pratique

#### 1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60352 couvre les connexions soudées par ultrasons et inclut des informations sur les exigences, les essais et les recommandations pratiques.

Le présent document couvre les connexions soudées par ultrasons effectuées avec des fils toronnés ou souples (de classe 2, 5 ou 6 conformément à l'IEC 60228) en cuivre ou en alliage de cuivre, ainsi qu'en aluminium ou en alliage d'aluminium.

Ces connexions métal-métal soudées doivent utiliser des fils dont la section transversale est de 0,08 mm<sup>2</sup> à 160 mm<sup>2</sup> et ne doivent pas dépasser une section totale de 200 mm<sup>2</sup> dans le cas d'un faisceau de fils.

Pour les fils en aluminium ou en alliage d'aluminium, la section minimale exigée est de 2,5 mm<sup>2</sup>.

En outre, des informations sur les matériaux, des données issues de l'expérience industrielle et des procédures d'essai sont incluses, afin d'assurer des connexions électriquement stables dans les conditions d'environnement prescrites.

Enfin, le présent document vise à obtenir des résultats comparables lorsque des équipements de soudage par ultrasons offrant des performances et des spécifications similaires à celles spécifiées par le fabricant de sorties sont utilisés.

NOTE Les figures du présent document donnent des exemples de solutions envisageables de connexions soudées par ultrasons de forme rectangulaire, sans pour autant restreindre les possibilités à la seule forme représentée.

#### 2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences 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).

IEC 60050-581, *Vocabulaire Électrotechnique International – Partie 581: Composants électromécaniques pour équipements électroniques*

IEC 60068-1:2013, *Essais d'environnement – Partie 1: Généralités et lignes directrices*

IEC 60068-2-1, *Essais d'environnement – Partie 2-1: Essais – Essai A:Froid*

IEC 60068-2-2, *Essais d'environnement – Partie 2-2: Essais – Essai B:Chaleur sèche*

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

IEC 60068-2-14, *Essais d'environnement – Partie 2-14: Essais – Essai N:Variation de température*

IEC 60068-2-30, *Essais d'environnement – Partie 2-30: Essais – Essai Db: Essai cyclique de chaleur humide (cycle de 12 h + 12 h)*

IEC 60068-2-60, *Essais d'environnement – Partie 2-60: Essais – Essai Ke: Essai de corrosion dans un flux de mélange de gaz*

IEC 60228, *Âmes des câbles isolés*

IEC 60512-1, *Connecteurs pour équipements électriques et électroniques – Essais et mesures – Partie 1: Spécification générique*

IEC 60512-1-1, *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 1-1: Examen général – Essai 1a: Examen visuel*

IEC 60512-1-2, *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 1-2: Examen général – Essai 1b: Examen de dimension et masse*

IEC 60512-2-1, *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 2-1: Essais de continuité électrique et de résistance de contact – Essai 2a: Résistance de contact – Méthode du niveau des millivolts*

IEC 60512-2-2, *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 2-2: Essais de continuité électrique et de résistance de contact – Essai 2b: Résistance de contact – Méthode du courant d'essai spécifié*

IEC 60512-2-5, *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 2-5: Essais de continuité électrique et de résistance de contact – Essai 2e: Perturbation de contact*

IEC 60512-3-1, *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 3-1: Essais d'isolement – Essai 3a: Résistance d'isolement*

IEC 60512-4-1, *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 4-1: Essais de contrainte diélectrique – Essai 4a: Tension de tenue*

IEC 60512-5-2, *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 5-2: Essais de courant limite – Essai 5b: Taux de réduction de l'intensité en fonction de la température*

IEC 60512-6-4, *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 6-4: Essais de contraintes dynamiques – Essai 6d: Vibrations (sinusoïdales)*

IEC 60512-11-1, *Connecteurs pour équipements électriques et électroniques – Essais et mesures – Partie 11-1: Essais climatiques – Essai 11a – Séquence climatique*

IEC 60512-11-4, *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 11-4: Essais climatiques – Essai 11d: Variations rapides de température*

IEC 60512-11-7, *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 11-7: Essais climatiques – Essai 11g: Essai de corrosion dans un flux de mélange de gaz*

IEC 60512-11-9, *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 11-9: Essais climatiques – Essai 11i: Chaleur sèche*

IEC 60512-11-10, *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 11-10: Essais climatiques – Essai 11j: Froid*

IEC 60512-11-12, *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 11-12: Essais climatiques – Essai 11m: Essai cyclique de chaleur humide*

IEC 60512-16-4, *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 16-4: Essais mécaniques des contacts et des sorties – Essai 16d: Résistance à la traction (connexions serties)*

IEC 60512-16-7, *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 16-7: Essais mécaniques des contacts et des sorties – Essai 16g: Mesure de la déformation d'un contact après sertissage*

IEC 60947-1:2020, *Appareillage à basse tension – Partie 1: Règles générales*

IEC 60999-1, *Dispositifs de connexion – Conducteurs électriques en cuivre – Prescriptions de sécurité pour organes de serrage à vis et sans vis – Partie 1: Prescriptions générales et particulières pour les organes de serrage pour les conducteurs de 0,2 mm<sup>2</sup> à 35 mm<sup>2</sup> (inclus)*

IEC 61191-1:2018, *Ensembles de cartes imprimées – Partie 1: Spécification générique – Exigences relatives aux ensembles électriques et électroniques brasés utilisant les techniques de montage en surface et associées*

ISO 1463:2021, *Revêtements métalliques et couches d'oxyde – Mesurage de l'épaisseur de revêtement – Méthode par coupe micrographique*

ISO 6722-1, *Véhicules routiers – Câbles monoconducteurs de 60 V et 600 V – Partie 1: Dimensions, méthodes d'essai et exigences pour les câbles conducteurs en cuivre*

ISO 6722-2, *Véhicules routiers – Câbles monoconducteurs de 60 V et 600 V – Partie 2: Méthodes d'essai des dimensions et exigences pour les câbles conducteurs en aluminium*

ISO 10447, *Soudage par résistance – Essais des soudures – Essais de pelage et de déboutonnage au burin appliqués aux soudures par résistance par points et par bossages*

ISO 21747:2006, *Méthodes statistiques – Performances de processus et statistiques d'aptitude pour les caractéristiques de qualité mesurées*