

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Railway applications – Current collection systems – Pantographs, testing methods for contact strips

Applications ferroviaires – Systèmes de captage de courant – Méthodes d'essai des bandes de frottement des pantographes

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62499:2021



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2021 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
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 corrigendum or an amendment might have been published.

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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 once a month by email.

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: sales@iec.ch.

IEC online collection - oc.iec.ch

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 18 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

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.

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

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 une fois par mois par email.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

IEC online collection - oc.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 000 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Railway applications – Current collection systems – Pantographs, testing
methods for contact strips**

**Applications ferroviaires – Systèmes de captage de courant – Méthodes d'essai
des bandes de frottement des pantographes**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 45.060.01

ISBN 978-2-8322-1060-0

**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.....	5
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	7
3.1 General.....	7
3.2 Contact strip material.....	8
3.3 Contact strip construction	9
4 Symbols and abbreviated terms.....	11
5 Requirements for data sheets	11
5.1 Data sheet and design drawing	11
5.2 Contact strip material.....	11
5.3 Contact strip characteristics	12
6 Test categories and environmental conditions	12
6.1 General.....	12
6.2 Type tests	13
6.3 Routine tests.....	13
6.4 Environment	13
6.5 Ambient air temperature.....	13
6.6 Test sequence	13
7 Test procedures	16
7.1 Tests for the temperature characteristic of the contact strip under current loading.....	16
7.1.1 General	16
7.1.2 Test method – To determine the temperature characteristic of the contact strip under current loading.....	17
7.2 Test for deflection and extension of the contact strip under extremes of temperature	17
7.2.1 General	17
7.2.2 Test method – High temperature test.....	18
7.2.3 Test method – Low temperature test.....	18
7.3 Test for flexural characteristic of the contact strip	19
7.3.1 General	19
7.3.2 Test method	19
7.4 Test for shear strength of the contact strip	20
7.4.1 General	20
7.4.2 Test method – Test at ambient air temperature.....	20
7.4.3 Test method – Test at specified temperature	23
7.5 Test of auto-drop detection sensor integral with contact strips	23
7.5.1 General	23
7.5.2 Test method – Sealing integrity	23
7.5.3 Test method – Sealing integrity temperature test.....	24
7.5.4 Test method – Air flow continuity	25
7.5.5 Test method – Impact function of the auto-drop detection sensor.....	25
7.6 Test of mechanical fatigue resistance of the contact strip	27
7.6.1 General	27
7.6.2 Test method	27
7.7 Test of the electrical resistance of the contact strip.....	27

7.7.1	General	27
7.7.2	Test method	28
7.8	Test of the metal content for metalized carbon contact strips and metal contact strips	28
7.8.1	General	28
7.8.2	Method 1: Weighing a part before and after the impregnation	29
7.8.3	Method 2: Determination of the apparent density of the material before and after the impregnation	29
7.8.4	Method 3: Weighing materials before sintering	29
7.9	Test of the coefficient of friction	29
7.9.1	General	29
7.9.2	Test method	30
7.10	Optional test of the impact resistance of the wearing material	30
7.10.1	General	30
7.10.2	Test method	30
7.11	Test of the thermal fatigue properties of the contact strip	30
7.11.1	General	30
7.11.2	Test method – Thermal fatigue test	31
7.12	Optional test of wear properties	31
7.12.1	General	31
7.12.2	Test method	32
Annex A (informative)	Parameters to be specified by the customer and graphical representation of customer specified values for pantograph automatic dropping device operation	34
A.1	Parameters to be specified by the customer	34
A.2	Graphical representation of customer specified values for pantograph automatic dropping device operation	35
Annex B (normative)	Current loading test apparatus	36
B.1	Current loading test apparatus – copper test electrode	36
B.2	Current loading test apparatus	37
Bibliography		38
Figure 1	– Example of self-supported	10
Figure 2	– Example of un-supported	10
Figure 3	– High temperature test apparatus	18
Figure 4	– Flexural characteristics test apparatus	19
Figure 5	– Shear test sample preparation	20
Figure 6	– Shear test fixture example	21
Figure 7	– Shear test apparatus example	22
Figure 8	– Force application tool example	22
Figure 9	– Impact test device example	26
Figure 10	– Air supply and monitoring apparatus example	26
Figure 11	– Electrical resistance test apparatus example	28
Figure 12	– Wear test rig example 1	32
Figure 13	– Wear test rig example 2	33
Figure A.1	– Graphical representation of customer specified values for pantograph automatic dropping device operation	35
Figure B.1	– Current loading test apparatus – copper test electrode	36

Figure B.2 – Current loading test apparatus	37
Table 1 – Schedule of tests.....	14
Table 2 – Sequence of tests	16
Table 3 – Test current.....	17
Table 4 – Test conditions – Test of mechanical fatigue resistance of the contact strip	27
Table A.1 – Parameters to be specified by the customer	34

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62499:2021

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**RAILWAY APPLICATIONS – CURRENT COLLECTION SYSTEMS –
PANTOGRAPHS, TESTING METHODS FOR CONTACT STRIPS**

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.

IEC 62499 has been prepared by IEC technical committee 9: Electrical equipment and systems for railways. It is an International Standard.

It is based on EN 50405:2015.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2008. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) Title modified;
- b) The scope of this standard is changed from carbon contact strips to contact strips;
- c) Replacement of several reference standards;
- d) Several terms and abbreviated terms are introduced;
 - The definitions of metalized contact strip and metal contact strip are introduced according to the metal or carbon content by weight;
 - The definitions of contact strip structures and types are introduced;

- e) Requirements for data sheets are introduced;
- f) Table 1: Schedule of tests and Table 2: Sequence of tests are introduced;
- g) The requirements for certain test methods and test acceptance criteria are updated;
- h) Test of metal content for metalized contact strip, test of the coefficient of friction, optional test of the impact resistance of the carbon material and optional test of wear properties are added;
- i) Annex A and Annex B are introduced.

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

Draft	Report on voting
9/2762/FDIS	9/2773/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. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/standardsdev/publications.

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 in the data related to the specific document. At this date, the document will be

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

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

RAILWAY APPLICATIONS – CURRENT COLLECTION SYSTEMS – PANTOGRAPHS, TESTING METHODS FOR CONTACT STRIPS

1 Scope

This document gives rules for testing methods for newly manufactured pantographs contact strips. Not all tests may be relevant to some designs of contact strips. This document excludes tests using a particular pantograph. Additional supplementary tests, out of the scope of this document, may be necessary to determine suitability for a particular application and are by prior agreement between customer and manufacturer.

NOTE The customer can, among others, be the system integrator, the manufacturer, the purchaser, the operator of the vehicle or the purchaser of the pantograph or a supervisory authority.

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 60413:1972, *Test procedures for determining physical properties of brush materials for electrical machines*

IEC 60773:2021, *Rotating electrical machines – Test methods and apparatus for the measurement of the operational characteristics of brushes*

ISO 148-1:2016, *Metallic materials – Charpy pendulum impact test – Part 1: Test method*

ISO 179-1:2010, *Plastics – Determination of Charpy impact properties – Part 1: Non-instrumented impact test*

ISO 180:2019, *Plastics – Determination of Izod impact strength*

ISO 6508-1: *Metallic materials – Rockwell hardness test – Part 1: Test method*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

3.1 General

3.1.1

air flow continuity

uninterrupted flow of air

3.1.2

air flow rate

flow rate, in standard litres per minute, based upon mass flow to be calculated at the standard temperature and pressure (STP)

Note 1 to entry: Referenced at a temperature of 15 °C (288,15 K, 59°F) and an absolute pressure of 101,325 kPa (1,013 25 bar, 1 standard atmosphere (atm)).

Note 2 to entry: Based upon the Standard Temperature and Pressure defined by ISO 13443.

3.1.3

auto-drop detection sensor

function incorporated in the contact strip which initiates the pantograph automatic dropping device

Note 1 to entry: The tests specified in this document relate only to pantograph automatic dropping devices operated by air.

3.1.4

pantograph automatic dropping device

ADD

device intended to lower the pantograph automatically if it is damaged

Note 1 to entry: The damage can include the contact strip and pantograph head, and other parts of the pantograph.

[SOURCE: IEC 60050-811:2017, 811-32-22]

3.1.5

rated current, <of contract strip>

current value that the contact strip is designed to sustain in the expected lifetime of the contact strip without degradation under the specified operating and environmental conditions

3.1.6

shear strength

force which can be withstood without failure of carbon material or the retention between the wearing material and the integral carrier

3.2 Contact strip material

3.2.1

carbon contact strip

inclusive term for a metalized carbon or a plain carbon contact strip

3.2.2

plain carbon contact strip

hard carbon material, without added metal elements

Note 1 to entry: The material can contain additives, such as oil, wax or resin.

3.2.3

metalized carbon contact strip

strip composed of carbon and metal, which contains a metal content 65 % maximum by weight

Note 1 to entry: The material can contain additives and can be impregnated with oil, wax or resin.

3.2.4

metal contact strip

strip which is mainly composed of metal or metal alloy and the content of metal or metal alloy is more than 65

3.3 Contact strip construction

NOTE The designs described in 3.3 may or may not include any of the following:

- Auto-drop detection sensor;
- Integrated end horns;
- Arc protection for integral carrier; either with additional components or coatings or with the carbon enshrouding the supporting carrier.

3.3.1

bonded carbon contact strip

contact strip formed by a carbon contact strip permanently attached to an integral carrier by an adhesive

3.3.2

carrier, <of contact strip>

structure which supports the contact strip, but is not permanently attached to it, and is used as an interface to the base plate of the pantograph head or the mounting point of the pantograph

3.3.3

copper clad contact strip

carbon contact strip housed in a formed copper sheath, with copper on the leading and trailing faces extending from the base to the contact surface of the carbon

Note 1 to entry: Often referred to as a “Kasperowski” contact strip.

3.3.4

fitted carbon contact strip

contact strip formed by a carbon contact material permanently attached to an integral carrier without the application of adhesive or solder

Note 1 to entry: This includes, but is not exclusive to, designs with carbon crimped, rolled or pressed into a carrier.

3.3.5

integral carrier

structure which supports the contact strip, and is permanently attached to it, without any additional support between the contact strip and the base plate of the pantograph head or the mounting points of the pantograph

3.3.6

metal and carbon composite contact strip

contact strip formed by vertical layers of metal mixed with layers of carbon permanently attached to a carrier

3.3.7

self-supported

contact strip which does not need additional support between the mounting points used to interface the contact strip and the pantograph (see Figure 1)



Figure 1 – Example of self-supported

3.3.8

soldered carbon contact strip

contact strip which is permanently attached to an integral carrier by solder

3.3.9

un-supported

contact strip which requires mounting to an additional support structure (a carrier) before fitting to the pantograph (see Figure 2)



Key

- 1 contact strip
- 2 carrier (for example)

Figure 2 – Example of un-supported

3.3.10

bolted carbon contact strip

carbon contact strip which can be directly bolted to a carrier

4 Symbols and abbreviated terms

A	designed area of adhesion (mm^2)
F_s	shear force (N)
R	resistance (Ω)
T_s	shear strength (N/mm^2)
T_{cs}	maximum temperature of the contact strip at the interface between the carrier and the “wearing material” determined by test (see 7.1) (°C). The temperature is measured in the “wearing material” immediately adjacent to the interface.
T_{max}	the limit temperature at which the shear strength of the bond maintains a minimum value determined by test (see 7.4.3) (°C). (For bonded carbon contact trips). The temperature is measured in the carbon immediately adjacent to the interface.
W_{bi}	weight of the part before impregnation
W_{ai}	weight of the part after impregnation
AD_b	apparent density of the specimen before impregnation
AD_a	apparent density of the specimen after impregnation
Δh	vertical deflection in the middle of the contact strip (deflection upwards is positive)
Δl	change in length of the contact strip assembly (increase in length is positive)
F	test contact force (test 7.1.2)
A_1	initial cross-sectional area of the contact wire (mm^2)
A_2	cross-sectional area of contact wire after wear (mm^2)
h_1	initial height of the contact strip sample (mm)
h_2	height of the contact strip sample after wear (mm)
m_1	initial mass of the contact strip sample (g)
m_2	mass of contact strip sample after wear (g)
W_k	running distance (10^4 km)
n_{tp}	the number of times pantograph passes through a contact wire (10^4 times)
W_h	height wear ratio ($\text{mm}/10^4$ km)
W_m	mass wear ratio ($\text{g}/10^4$ km)
W_a	area wear ratio ($\text{mm}^2/10^4$ times)
W_c	weight of the carbon powder
W_{me}	weight of the metal powder
μ	coefficient of friction

5 Requirements for data sheets

5.1 Data sheet and design drawing

The characteristics of the contact strip material should be provided in a data sheet and design drawing.

5.2 Contact strip material

The following information is an example:

- manufacturer's grade designation;
- hardness according to IEC 60413 or ISO 6508-1;

- c) density according to IEC 60413;
- d) flexural strength according to IEC 60413;
- e) electric resistivity according to IEC 60413;
- f) percentage of metal impregnation according to 7.8, with tolerance;
- g) coefficient of friction according to 7.9;
- h) material type e.g. plain carbon.

NOTE For metal contact strips information is provided according to alternative relevant standards.

5.3 Contact strip characteristics

The following information is an example:

- a) contact strip construction as defined in 3.3 and Table 1;
- b) data sheet and drawing reference numbers;
- c) record of standard compliance and certification;
- d) dimensions, tolerances and design drawings including specific requirements;
- e) weight (new and fully worn) with tolerances;

NOTE 1 The worn weight, if provided, is an estimate based upon the service conditions.

- f) designed rated current in operation;

NOTE 2 The designed rated current is defined by the manufacturer and customer, the manufacturer proves such currents.

- g) wear limit;

NOTE 3 The method and the basis for deciding the wear limit is shown by the manufacturer.

- h) value of T_{cs} determined by test 7.1;
- i) value of T_{max} determined by test 7.4.3;
- j) maximum and minimum operating pressure for use with a pantograph automatic dropping device;
- k) air flow rate (in standard litres per minute) at minimum pressure for use with a pantograph automatic dropping device;
- l) minimum air leakage flow rate (in standard litres per minute) at specified pressure corresponding to auto-drop operation;

NOTE 4 This parameter relates to IEC 60494-1:2013, 4.9. The value is given by the pantograph manufacturer to the carbon contact strip manufacturer to use in the test of the auto-drop detection shock impact function test set out in 7.5.5.

- m) minimum air flow rate (in standard litres per minute) at specified pressure, for operation of auto-drop detection sensor.

NOTE 5 This parameter is defined to permit compliance with the time of 1 s mentioned in IEC 60494-1:2013, 6.2.5 for a specified pantograph. The value is given by the pantograph manufacturer to the carbon contact strip manufacturer to use in the air flow continuity test set out in 7.5.4.

6 Test categories and environmental conditions

6.1 General

There are two categories of tests:

- type tests;
- routine tests.

The above tests are described in 6.2 to 6.3.

Supplementary tests may be required if they have been specified in the customer specification and after agreement with the supplier.

6.2 Type tests

Type tests shall be performed on samples of a given design, in accordance with the schedule of tests set out in Table 1 and Table 2.

Designs in current manufacture shall be considered to have satisfied the type tests if the manufacturer can provide certified reports of type tests (complying with the test requirements set out in this document) which have already been conducted successfully on identical components.

NOTE IEC 60494-1:2013, 6.12.3 includes a combined test carried out by the customer during the running test of the pantograph on the vehicle.

6.3 Routine tests

Routine tests shall be carried out in accordance with the schedule of tests set out in Table 1, to verify that the properties of a product correspond to those determined during the type test. Routine tests shall be performed on each item of equipment supplied, unless sampling is specified by the customer.

6.4 Environment

The test shall be made indoors in an environment substantially free from air currents, except those generated by heat from the sample being tested. In practice, this condition is reached when the air velocity does not exceed 0,5 m/s.

6.5 Ambient air temperature

The ambient air temperature is the average temperature of the air surrounding the sample. It shall be recorded during the tests.

The ambient air temperature during tests shall be more than +15 °C, but shall not exceed +30 °C. No correction of the temperature-rise values shall be made for ambient air temperatures within this range.

All tests shall be carried out at ambient air temperature unless otherwise specified.

6.6 Test sequence

Tests shall be performed in the sequence defined in Table 2 using the same sample for successive tests as indicated in each column of the table.

NOTE The test sequence is set out in Table 2 to minimize the number of samples required for testing. Sample A is subject to a comprehensive series of tests to demonstrate capability of withstanding stresses the contact strips experience in service. A minimum of four sample contact strips plus material samples can be prepared to complete the full series of tests.

Table 1 – Schedule of tests

	Type test													Routine tests	
Design	Bonded carbon contact strips		Soldered carbon contact strips		Fitted carbon contact strips		Copper clad contact strips ⁹		Metal and carbon composite contact strips ⁹		Metal contact strips ⁹		Bolted carbon contact strips		
Test	Self-supported	Un-supported	Self-supported	Un-supported	Self-supported	Un-supported	Self-supported	Un-supported	Self-supported	Un-supported	Self-supported	Un-supported	Self-supported	Un-supported	
7.1 Tests for the temperature characteristic of the contact strip under current loading	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes	
7.2 Test for deflection and extension of the contact strip under extremes of temperature	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes	No	
7.3 Test for flexural characteristic of the contact strip	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	
7.4 Test for shear strength of the contact strip	Yes	Yes ^e	No	No	No	No	No	No	Yes (if bonded or soldered)	No	No	No	No	No	
7.5.2 Pantograph automatic dropping device sealing integrity	Yes ^a	Yes ^a	Yes ^a	Yes ^a	Yes ^a	Yes ^a	Yes ^a	Yes ^a	Yes ^a	Yes ^a	Yes ^a	Yes ^a	Yes ^a	Yes ^a	R ^a
7.5.3 Pantograph automatic dropping device sealing integrity temperature test	Yes ^a	Yes ^a	Yes ^a	Yes ^a	Yes ^a	Yes ^a	Yes ^a	Yes ^a	Yes ^a	Yes ^a	Yes ^a	Yes ^a	Yes ^a	Yes ^a	
7.5.4 Pantograph automatic dropping device air flow continuity	Yes ^a	Yes ^a	Yes ^a	Yes ^a	Yes ^a	Yes ^a	Yes ^a	Yes ^a	Yes ^a	Yes ^a	Yes ^a	Yes ^a	Yes ^a	Yes ^a	R ^a
7.5.5 Impact function of the auto-drop detection sensor	Yes ^a	Yes ^{a,c}	Yes ^a	Yes ^{a,c}	Yes ^a	Yes ^{a,c}	Yes ^a	No ^{a,b,c}	Yes ^a	Yes ^{a,c}	No ^{a,b,c}	Yes ^a	Yes ^a	Yes ^{a,c}	
7.6 Test of mechanical fatigue resistance of the contact strip	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	
7.7 Test of the electrical resistance of the contact strip	Yes	Yes (type test only)	Yes (type test only)	Yes (type test only)	Yes (type test only)	Yes (type test only)	Yes (type test only)	Yes (type test only)	Yes (if bonded or Soldered-type test only)	No	Yes (type test only)	Yes (type test only)	Yes (type test only)	R (bonded only)	

[illegible]

Table 2 – Sequence of tests

Design	Sample A	Sample B	Sample C	Sample D	Individual samples
Test	Test sequence	Test sequence	Test sequence	Test sequence	
7.1 Tests for the temperature characteristic of the contact strip under current loading	4				
7.2 Test for deflection and extension of the contact strip under extremes of temperature	5				
7.3 Test for flexural characteristic of the contact strip		3 (with 7.5.2)			
7.4 Test for shear strength of the contact strip	14 (at ambient air temperature as specified in 7.11)			1 (7.4.2) and (7.4.3)	
7.5.2 Pantograph automatic dropping device sealing integrity	2, 9 and 12	2, 5 (at wear limit)	2		
7.5.3 Pantograph automatic dropping device sealing integrity temperature test	6				
7.5.4 Pantograph automatic dropping device air flow continuity		4	3		
7.5.5 Impact function of the auto-drop detection sensor			4		
7.6 Test of mechanical fatigue resistance of the contact strip	7				
7.7 Test of the electrical resistance of the contact strip	1, 8 and 11	1	1		
7.8 Test of the metal content for metalized carbon contact strips and metal contact strips					Material sample ^a
7.9 Test of the coefficient of friction					Material sample ^a
7.10 Optional test of the impact resistance of the carbon material					Material sample ^a
7.11 Test of the thermal fatigue properties of the contact strip	10				
7.12 Optional test of wear properties					Test sample
^a Material samples need not be obtained from a finished contact strip.					

7 Test procedures

7.1 Tests for the temperature characteristic of the contact strip under current loading

7.1.1 General

The test determines the temperature within the contact strip when carrying a defined current, T_{cs} which is used as a reference temperature in subsequent tests. If the value of T_{cs} measured in this test is less than 100 °C, then a value of 100 °C shall be used in the subsequent tests.

This test demonstrates that the strip design achieves dissipation of energy under current loading so that the maximum design temperature limit is not exceeded when thermal equilibrium is reached.

Continuous measurement (record interval shall be not more than 1 min) of the temperature shall be used to determine the steady temperature reached at the defined current loading. Recommended method to determine steady temperature is defined as follows: a steady temperature is accepted when the recorded temperature fluctuation is less than 2 °C within a 10 min period or when the current loading time is more than 1,5 h.

This test will allow comparisons between manufacturers by the use of a standard test.

This test shall be carried out at ambient air temperature (see 6.5).

7.1.2 Test method – To determine the temperature characteristic of the contact strip under current loading

The test shall determine the temperature T_{cs} , within the contact strip when carrying a defined current. A current, selected from the values given in Table 3, shall be passed from a standard test electrode into the top surface of the contact strip under test, and the current shall return through the normal electrical connection points of the contact strip.

Table 3 – Test current

AC contact strip test current	plain carbon contact strip	300 A
	metalized carbon contact strip	300 A
	other types of contact strip	300 A
DC contact strip test current	plain carbon contact strip	300 A
	metalized carbon contact strip	10 A per mm of contact strip width
	other types of contact strip	600 A

The shape of the copper test electrode shall be as shown in Figure B.1. The contact strip shall be ground flat over the area in contact with the copper test electrode, which shall be held in contact with the contact strip with a maximum test contact force (F) of 1 500 N. The number and position of current connections shall be such that the current is evenly distributed through the copper test electrode. The arrangement of the test apparatus and temperature measurement point are as shown in Figure B.2. The same design of electrode is used for both for AC and DC applications.

NOTE 1 This current value is for test purposes only and does not reflect the declared operational design limits for the contact strip. The test values and test arrangements have been determined through trials undertaken by manufacturers supporting the working group.

NOTE 2 The test contact force is for test purposes only. If necessary, the contact strip carrier may be reinforced to achieve the required contact force.

NOTE 3 The copper test electrode is specified for test purposes only. Results from this copper test electrode have been verified by comparison with results obtained in service.

7.2 Test for deflection and extension of the contact strip under extremes of temperature

7.2.1 General

This test determines the vertical deflection and the change in length of the contact strip assembly under the influence of extreme temperatures.

NOTE This test can be applied to contact strips forming the centre part of the pantograph head while being integrated into a pantograph head construction forming the outer contour. In this case, it can be important that the change in geometry remains within limits set out in the design.

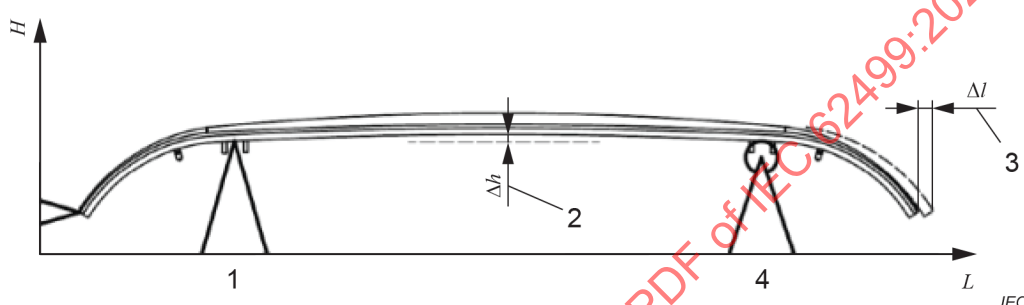
7.2.2 Test method – High temperature test

7.2.2.1 General

This test determines the changes in geometry of the strip when heated to the temperature T_{cs} and shall demonstrate that these deflections remain within the elastic limit and the deformations are compatible with the technology of assembly of the pantograph head.

The temperature of the contact strip shall be raised to T_{cs} . Measurements shall be taken when the temperature becomes steady.

The change in length of the contact strip assembly (Δl) and the vertical displacement in the middle of the strip (Δh) in reference to the position at ambient air temperature (see 6.5) shall be measured and recorded (see Figure 3) along with the ambient and contact strip temperature.



Key

- 1 fixed end support at mounting interface position
- 2 vertical deflection (Δh) in the centre of the contact strip (deflection upwards is positive)
- 3 change in length (Δl) of the contact strip (increase in length is positive)
- 4 free end support at mounting interface position

Figure 3 – High temperature test apparatus

7.2.2.2 Test acceptance criteria

The dimensions h and l shall stay within the values defined on the design drawing after returning to ambient air temperature (see 6.5). Δh and Δl shall be measured and recorded together with the ambient and contact strip temperature.

After cooling to ambient air temperature (see 6.5) the contact strip assembly shall be undamaged. The contact strip is considered to be undamaged if a visual inspection confirms no fissures are visible. No fissures shall be visible in the contact material or near the bonding surface. The regular current transmission points including fixing points do not show any sign of thermal overheating.

NOTE The sealing integrity test defined in 7.5.3.1 may be combined with this test.

7.2.3 Test method – Low temperature test

7.2.3.1 General

This test shall be undertaken after test 7.2.2 on the same samples.

The contact strip shall be cooled until the temperature of the strip is $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Δh and Δl shall be measured and recorded together with the ambient and contact strip temperature.

7.2.3.2 Test acceptance criteria

The dimensions h and l shall stay within the values defined in the design drawing after returning to ambient air temperature (see 6.5). Δh and Δl shall be measured and recorded together with the ambient and contact strip temperature. There shall be no visible fissures and no permanent deformation.

NOTE The sealing integrity test defined in 7.5.3.2 may be combined with this test.

7.3 Test for flexural characteristic of the contact strip

7.3.1 General

This test determines the flexural characteristic of the contact strip at ambient air temperature (see 6.5).

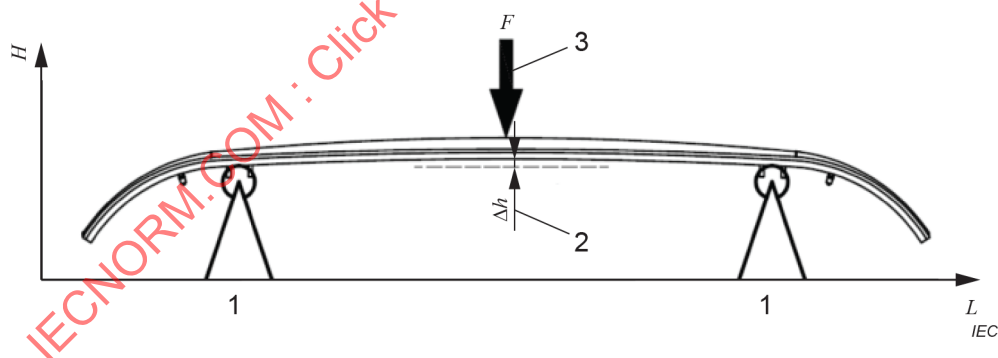
7.3.2 Test method

7.3.2.1 General

The flexural characteristic (in graphical form) shall be determined by three point bending of the complete contact strip when freely supported at the normal mounting points at each end of the strip along the longitudinal centreline of the contact strip and loaded vertically at the centre (e.g. by hydraulic or mechanical press). The radius of the force applicator shall be at least 4 mm. The direction of the force shall be perpendicular to the contact face. The force shall be steadily increased (see Figure 4).

The minimum force used for the measurement shall be 350 N. If the linear part of the deformation curve is not reached, the force shall be increased until the linear characteristic is shown.

The force may be increased to the point of permanent deformation of the contact strip.



Key

- 1 free supports at mounting interface positions
- 2 vertical deflection (Δh) in the centre of the contact strip (deflection upwards is positive)
- 3 force (F) applied perpendicular to contact strip at center

Figure 4 – Flexural characteristics test apparatus

7.3.2.2 Test acceptance criteria

The test results shall show that the contact strip remains within the elastic limit with a minimum force of 350 N applied.

The contact strip is considered to be undamaged if a visual inspection confirms no fissures are visible following a test with a force of up to a minimum of 350 N applied.

7.4 Test for shear strength of the contact strip

7.4.1 General

7.4.1.1 Overview

This test demonstrates that the interface between wearing material and integral carrier meets the minimum shear strength criteria:

- a) At ambient air temperature (see 6.5),
- b) At the temperature T_{cs} ,
- c) At specified temperatures (see 7.4.3),
- d) After being subjected to thermal fatigue (see 7.11).

This test shall demonstrate that the adhesion between wearing material and supporting structure meets the minimum shear strength criteria at ambient air temperature, at the temperature T_{cs} as defined in 7.1, at temperatures specified by the manufacturer, and when subject to thermal fatigue. The shear strength is defined as: $T_s = F_s / A$ (N/mm²). For the calculation of the area of adhesion (item A in Figure 7) the manufacturer shall state the method used for calculation.

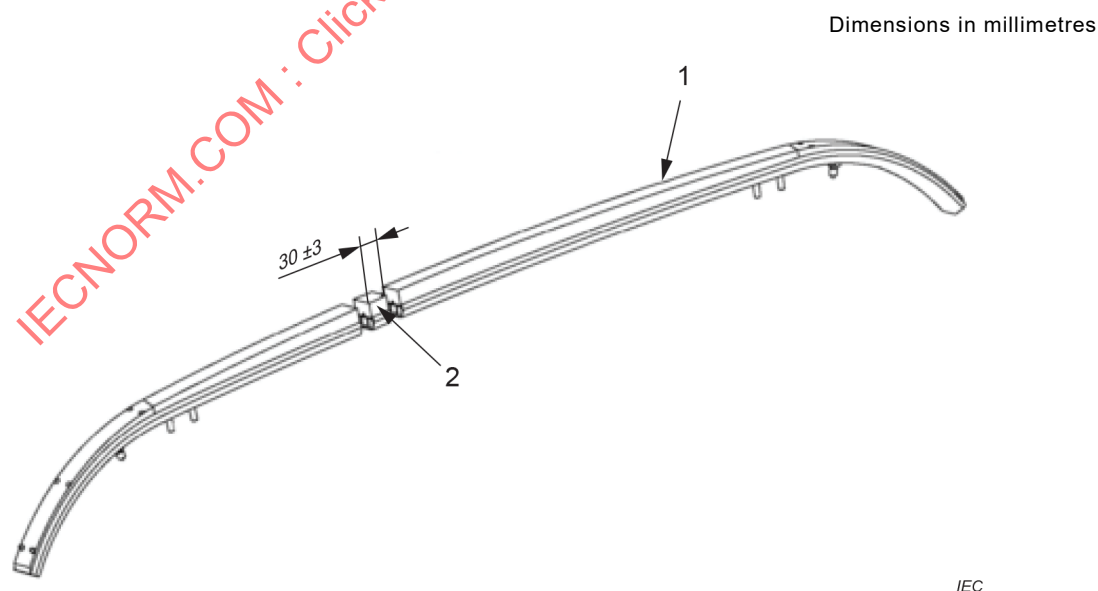
7.4.1.2 Test acceptance criteria

The shear strength at failure of the specimen at ambient air temperature (see 6.5) shall exceed the minimum shear strength criteria as set out in 7.4.1 or result in failure of the carbon material alone.

7.4.2 Test method – Test at ambient air temperature

7.4.2.1 General

Samples for the shear test of contact strip shall be prepared in accordance with Figure 5.



Key

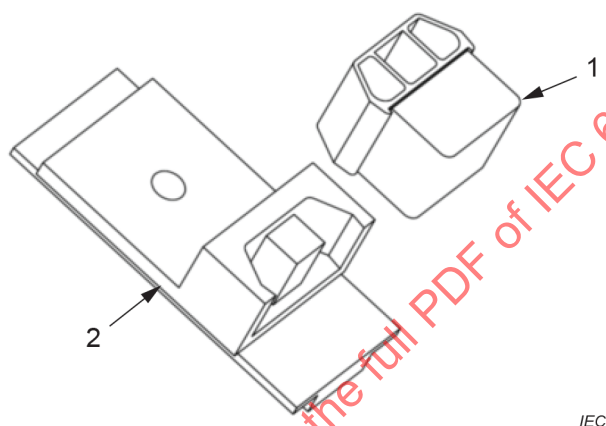
- 1 contact strip
- 2 shear test sample cut 30 mm ± 3 mm long

Figure 5 – Shear test sample preparation

A minimum of 3 samples shall be prepared from a production contact strip and shall include each end of the contact strip (excepting contact strip fixing points) and the center. Each sample shall be prepared to a length of $30\text{ mm} \pm 3\text{ mm}$. Each sample shall be installed in a suitable fixture (see Figure 6) in order that the applied shear force F_s is guided directly into the interface defined as the area of adhesion “A” between carrier and wearing material (see Figure 7 and Figure 8) and in a way to avoid undesirable bending moment acting on the interface, additional element shall be used if required. The force at failure of the sample shall be recorded. The shear strength shall be determined by calculation of T_s .

7.4.2.2 Test acceptance criteria

The minimum calculated shear strength shall be 5 N/mm^2 . The shear strength at failure of the specimen at ambient air temperature (see 6.5) shall exceed the minimum shear strength criteria as set out in 7.4.1 or result in failure of the carbon material alone.

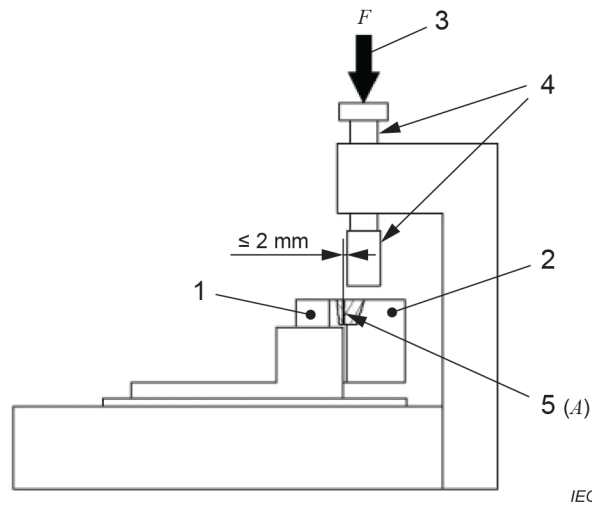


Key

- 1 shear test sample
- 2 fixture with location pin (or pins as required)

Figure 6 – Shear test fixture example

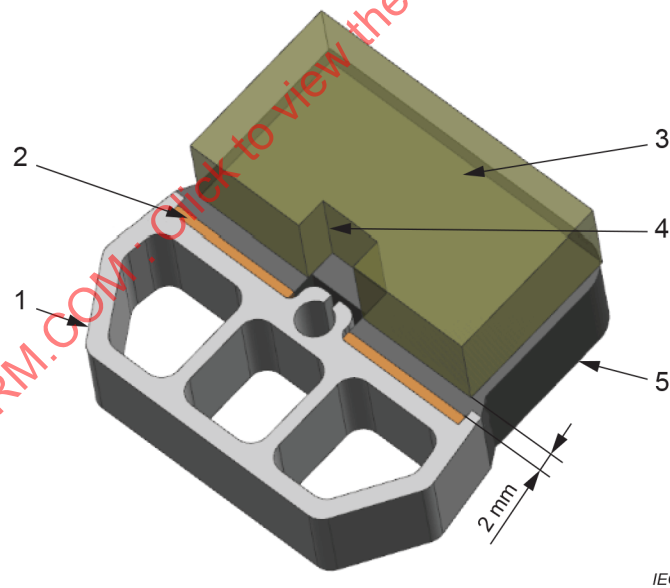
The edge of the force application tool shall be no greater than 2 mm from the bond between the carrier and the carbon material.



Key

- 1 carrier (test sample)
- 2 wearing material (test sample)
- 3 force (F) applied
- 4 force application tool
- 5 area (A) of adhesion

Figure 7 – Shear test apparatus example



Key

- 1 carrier
- 2 bonding layer
- 3 force application tool
- 4 slot for ADD
- 5 wearing material

Figure 8 – Force application tool example

7.4.3 Test method – Test at specified temperature

7.4.3.1 General

Test specimens shall be prepared in accordance with 7.4.2. Specimens shall be cooled / heated to $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, and the temperature T_{cs} . The shear strength at each temperature shall be recorded. The temperature shall be measured in the wearing material immediately adjacent to the interface of the wearing material and the integral carrier. It shall be verified that the temperature of the monitoring point is representative of temperature at the interface and maintained during the test. The force at failure of each sample shall be recorded. The characteristics of T_{s} with temperature shall be provided. Further tests for contact strips of bonded construction, shall be undertaken to determine the limit temperature T_{max} at which the shear strength maintains a value of $2,5\text{ N/mm}^2$. The test shall be performed by applying a constant force equivalent to $2,5\text{ N/mm}^2$, and then increasing the temperature of the sample at a rate of lower than $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ per minute until the sample fails. If the design includes additional mechanical clamping of the contact strip to the carrier, this test shall be undertaken with the additional clamping removed.

7.4.3.2 Test acceptance criteria

The test acceptance criteria at each temperature shall be:

– $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$:	5 N/mm^2	minimum
– $100\text{ }^{\circ}\text{C}$:	5 N/mm^2	minimum
– T_{cs}	$2,5\text{ N/mm}^2$	minimum
– T_{max}	$2,5\text{ N/mm}^2$	to determine T_{max}

The acceptance criteria given for this test are for bonded contact strips. For other technologies, the acceptance criteria shall be agreed with the customer.

The customer may specify additional tests on bonded and clamped contact strips.

7.5 Test of auto-drop detection sensor integral with contact strips

7.5.1 General

The following tests demonstrate the sealing integrity of the contact strips, the air flow continuity of the auto-drop detection sensor and the operation of the auto-drop detection sensor. Results of these tests shall be made available to the customer. These tests are applicable only to contact strips that are equipped with a pneumatic device at the base of the carbon and used as a sensing device.

7.5.2 Test method – Sealing integrity

7.5.2.1 General

The contact strip auto-drop detection sensor shall be pressurized for a minimum of 10 s at the maximum operating pressure of the pantograph automatic dropping device. The maximum operating pressure shall be 1 MPa gauge (10 bar gauge) or the maximum operating pressure as specified by the customer (Annex A). The air leakage rate shall be measured and the test undertaken at ambient air temperature. Alternative methods of measurement are acceptable where it can be demonstrated that they equate to the above leakage rate at maximum operating pressure.

This is a routine test on all contact strips that are intended for use with a pantograph automatic dropping device.

As a type test, this test shall be undertaken as set out in Table 2.

The type test shall be repeated with a contact strip machined to the manufacturer's wear limit.

NOTE The pressure of operation is defined in the data sheet or drawing.

7.5.2.2 Test acceptance criteria

The leakage rate shall not exceed 0,1 standard litres per minute. It is permissible for this test to be carried out by measuring the equivalent difference in pressure over time.

For example, at a pressure of 1 MPa gauge (10 bar gauge), the equivalent difference in pressure over time is a maximum of 20 kPa gauge (0,2 bar gauge) per minute with a reservoir of 0,5 l.

NOTE At 1 MPa gauge (10 bar gauge), with a 0,5 l reservoir 20 kPa gauge (0,2 bar gauge) pressure drop in 1 min is equivalent to 0,1 l/min at standard temperature and pressure (see 3.1.2). If other operating pressures are specified, the equivalent difference in pressure can be calculated.

7.5.3 Test method – Sealing integrity temperature test

7.5.3.1 Test method – Sealing integrity at T_{cs}

7.5.3.1.1 General

Where fitted with an auto-drop detection sensor, the temperature of the contact strip shall be raised to T_{cs} and pressurized to 1 MPa gauge (10 bar gauge) or the maximum operating pressure as specified by the customer (Annex A). The sealing integrity during this test shall be monitored.

NOTE The high temperature test defined in 7.2.2 may be combined with this test.

7.5.3.1.2 Test acceptance criteria

The leakage air flow rate shall not exceed 0,1 standard litres per minute. It is permissible for this test to be carried out by measuring the equivalent difference in pressure over time.

For example, at a pressure of 1 MPa gauge (10 bar gauge), the equivalent difference in pressure over time is a maximum of 20 kPa gauge (0,2 bar gauge) per minute with a reservoir of 0,5 l.

NOTE At 1 MPa gauge (10 bar gauge), with a 0,5 l reservoir 20 kPa gauge (0,2 bar gauge) pressure drop in 1 min is equivalent to 0,1 l/min at standard temperature and pressure (see 3.1.2). If other operating pressures are specified, the equivalent difference in pressure can be calculated.

7.5.3.2 Test method – Sealing integrity at low temperature

7.5.3.2.1 General

Where fitted with an auto-drop detection sensor, the temperature of the contact strip shall be reduced to -40 °C (Annex A) and pressurized to 1 MPa gauge (10 bar gauge) or the maximum operating pressure as specified by the customer (Annex A). The sealing integrity during this test shall be monitored.

NOTE The low temperature test defined in 7.2.3 may be combined with this test.

7.5.3.2.2 Test acceptance criteria

The leakage rate shall not exceed 0,1 standard litres per minute. It is permissible for this test to be carried out by measuring the equivalent difference in pressure over time.

For example, at a pressure of 1 MPa gauge (10 bar gauge), the equivalent difference in pressure over time is a maximum of 20 kPa gauge (0,2 bar gauge) per minute with a reservoir of 0,5 l.

NOTE At 1 MPa gauge (10 bar gauge), with a 0,5 l reservoir 20 kPa gauge (0,2 bar gauge) pressure drop in 1 min is equivalent to 0,1 l/min at standard temperature and pressure (see 3.1.2). If other operating pressures are specified, the equivalent difference in pressure can be calculated.

7.5.4 Test method – Air flow continuity

7.5.4.1 General

For the type test, this test shall be undertaken on a contact strip that has been subject to the sealing integrity test set out in 7.5.2.

A flow meter shall be connected between the air supply and the contact strip. The supply shall be pressurized and maintained at the specified pressure and the minimum operating pressure of the pantograph automatic dropping device as specified by the customer (Annex A). The blanking plug sealing the auto-drop sensing system shall be removed.

7.5.4.2 Test acceptance criteria

The air flow rate (in standard litres per minute) at specified pressure, shall be recorded and shall be equal to or exceed the minimum value defined by customer (Annex A) for operation of auto-drop detection sensor.

NOTE See also 4.9, Annex C and 6.2.5 and 6.2.6 of IEC 60494-1:2013.

7.5.5 Test method – Impact function of the auto-drop detection sensor

7.5.5.1 General

This test provides information on the performance of the pantograph contact strip when subject to high energy impacts.

The test demonstrates the operation of the auto-drop detection sensor by impacting the contact strip and causing a severe failure of the contact material.

The contact strip shall be supported at the interface between the pantograph and contact strip at a height which aligns the striking point of the pin with the maximum wear line of the collector at mid span of the contact strip (Figure 9). An air supply and monitoring equipment shall be connected and the system shall be pressurized to the minimum operating pressure (Figure 10). The mass shall be retracted to a height h to provide impact energy to values defined below. The mass shall be retracted to a height h to provide sufficient energy to cause a successful operation of the auto-drop detection sensor. A linear impact method producing the equivalent energy level defined by the customer is also permissible. The energy shall be derived from the following formula:

$$\text{Energy } E \text{ (J)} = \text{Mass } m \text{ (kg)} \times \text{gravity } g \text{ (approximately } 9,81 \text{ m/s}^2\text{)} \times \text{height } h \text{ (m)}$$

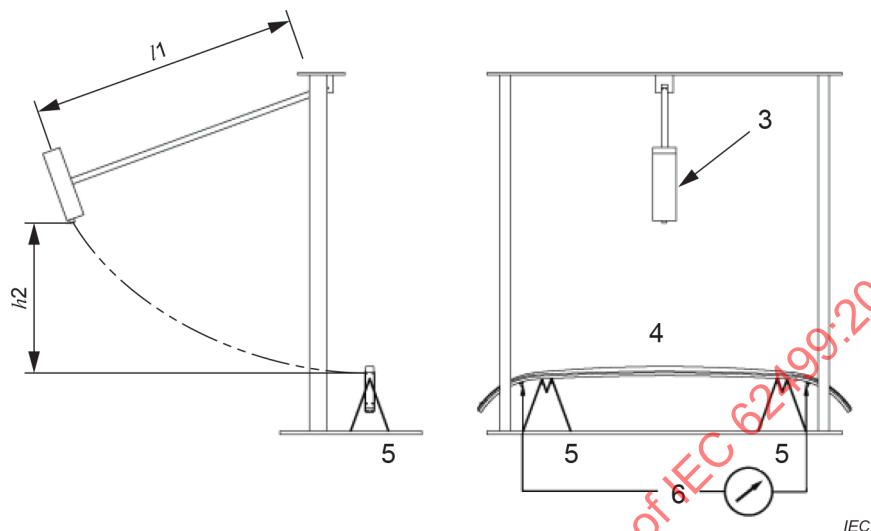
The contact strip shall be impacted with energy of 50 J for three successive strikes. If the auto-drop detection sensor has not operated, further impacts of 100 J shall be made. If the auto-drop detection sensor has still not activated after 10 impacts of 100 J, then the impact energy will be increased until the auto-drop detection sensor will be activated by further strikes, the test condition and results shall be recorded. If the pantograph dropping device has not operated further impacts of 100 J shall be made until the pantograph dropping device operates. The air leakage flow rate (in standard litres per minute) at specified pressure, after each step shall be recorded together with photographs of the damage caused.

Pantograph automatic dropping device operation takes place when the minimum value air leakage flow rate (in standard litres per minute) defined by the customer is exceeded (See Annex A).

NOTE The flow measurement is to provide information on the behavior of the pantograph automatic dropping device in response to successive low energy impacts.

7.5.5.2 Test acceptance criteria

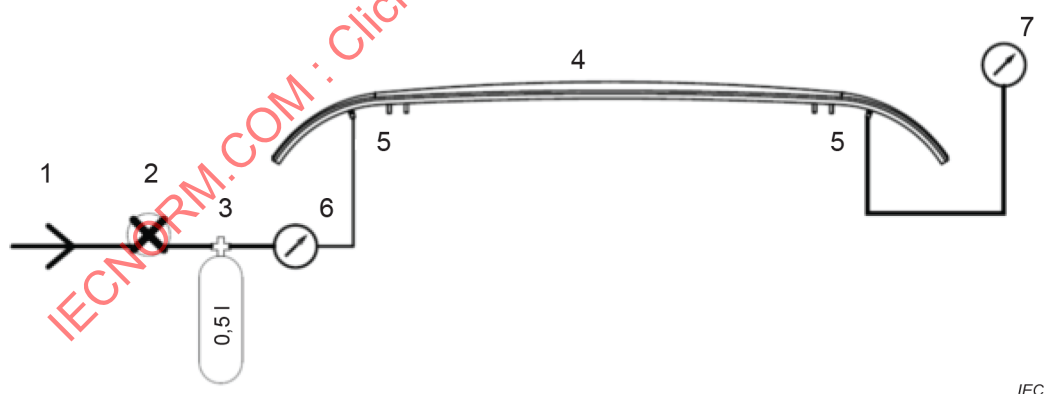
The air flow rate shall exceed the minimum value defined by the customer, if provided, (Clause A.1 and Figure A.1) for operation of auto-drop detection sensor. The number of strikes and the energy level shall be recorded.



Key

- 1 length (l) of pendulum, typically 1 m
- 2 starting height (h) of striking pin
- 3 weight with striking pin, typically diameter 13 mm
- 4 contact strip
- 5 fixed supports at mounting interface positions
- 6 air supply (see Figure 10)

Figure 9 – Impact test device example



Key

- 1 air supply
- 2 on/off valve
- 3 0,5 l reservoir
- 4 contact strip
- 5 connection interfaces
- 6 flow meter
- 7 pressure gauge

Figure 10 – Air supply and monitoring apparatus example

7.6 Test of mechanical fatigue resistance of the contact strip

7.6.1 General

This test shall demonstrate that the structural integrity of the assembly will not deteriorate in service.

7.6.2 Test method

7.6.2.1 General

The contact strip shall be supported at the interface between the pantograph and the contact strip integral carrier. A sinusoidal varying load shall be applied vertically downward on the wearing material at the mid-point.

The frequency, the number of cycles and the load are given in Table 4.

Table 4 – Test conditions – Test of mechanical fatigue resistance of the contact strip

Number of cycles	Frequency Hz $\pm 10\%$	Load MIN N $+ 0\%/- 20\%$	Load MAX N $+ 20\% / - 0\%$
600,000	2	55	175
5,000,000	15	90	150

NOTE 1 This test is based upon the forces and frequency of application that a pantograph could experience in service. At 2 Hz related to span length and at 15 Hz related to dropper spacing. The values are considered to be applicable to all types of pantograph contact strip.

NOTE 2 The actual loads experienced by the pantograph contact strips depend upon the train speed, the system and the environment in which it is operated, for instance in tunnels.

NOTE 3 The parameters listed above can be changed according to the agreement between supplier and customer.

7.6.2.2 Test acceptance criteria

The contact strip shall:

- have no visible structural deterioration of the contact strip;
- conform to the drawing approved by the customer;
- have a change to the electrical resistance averaged over 10 test point measurements of less than 30 % and remain within the manufacturer's declared resistance limits for the contact strip;
- retain the sealing integrity of the pantograph auto-drop detection sensor chamber in accordance with 7.5.2.

7.7 Test of the electrical resistance of the contact strip

7.7.1 General

This test determines the electrical resistance from the contact surface of the contact strip and the supporting structure, and can be used to demonstrate consistent manufacture.

7.7.2 Test method

7.7.2.1 General

The resistance shall be measured by using a tool which incorporates contact points for the transmission of current and monitoring of voltage drop. The current electrodes are in contact with the upper and lower surfaces of the contact strip. The voltage electrodes are a point with a distance/radius to the current electrodes to avoid influence (see example Figure 11).

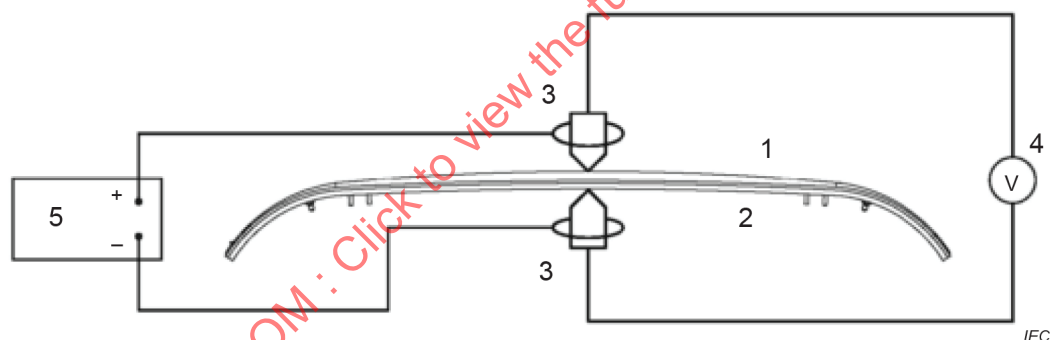
The tool shall be applied with a repeatable force at test locations along the whole length of the contact strip excluding integrated end horns. The maximum distance between adjacent test points shall be 10 cm.

At each application a constant DC current of between 1 A and 10 A shall be applied. The actual current and voltage drop at the location of current application shall be recorded and the resistance between the test electrodes calculated (see Figure 11). Alternatively, an equivalent direct reading ohmmeter may be used.

For contact strips that are delivered machined to other than a flat profile across width of the contact strip, the test electrode shall allow for this.

7.7.2.2 Test acceptance criteria – Type test and routine test

Resistance measurements shall be within the manufacturer's declared resistance limits for the contact strip.



Key

- 1 contact surface
- 2 supporting structure (carrier)
- 3 current transmission contact points
- 4 voltmeter (mV)
- 5 power supply DC

Figure 11 – Electrical resistance test apparatus example

7.8 Test of the metal content for metalized carbon contact strips and metal contact strips

7.8.1 General

The metal content of a sample of the contact strip material shall be determined using either of the methods set out in 7.8.2 or 7.8.3. For sintered contact strips, the test method set out in 7.8.4 can also be used.

7.8.2 Method 1: Weighing a part before and after the impregnation

7.8.2.1 General

The test sample shall be weighed before and after impregnation, and the percentage metal content calculated as below:

$$(W_{ai} - W_{bi}) / W_u = \text{Metal content in \% by weight}$$

7.8.2.2 Test acceptance criteria

The metal content shall be compliant with the manufacturer's specification and any customer specification (Annex A) and the value shall be recorded.

7.8.3 Method 2: Determination of the apparent density of the material before and after the impregnation

7.8.3.1 General

For determination of the metal content using the apparent density method, this shall be carried out in accordance with IEC 60413:1972, Clauses 204 and 205. It is recommended that a larger test specimen than described in IEC 60413:1972, Clause 102 is used to reduce the measurement error in the results.

Recommendation for the size of the specimens: (80 to 100) × (20 to 80) × (10 to 15) mm.

$$(AD_a - AD_b) / AD_a = \text{Metal content in \% by weight}$$

7.8.3.2 Test acceptance criteria

The metal content shall be compliant with the manufacturer's specification and any customer specification (Annex A) and the value shall be recorded.

7.8.4 Method 3: Weighing materials before sintering

7.8.4.1 General

Before mixing, carbon powder and metal powder shall be separately weighed. The percentage metal content is calculated as below:

$$W_{me} / (W_C + W_{me}) = \text{Metal content in \% by weight}$$

7.8.4.2 Test acceptance criteria

The metal content shall be compliant with the manufacturer's specification and any customer specification and the value shall be recorded.

NOTE This test is only applicable to sintered contact strip.

7.9 Test of the coefficient of friction

7.9.1 General

This test determines the coefficient of friction (μ) of the running surface of the contact strip and may be used to demonstrate consistent manufacture.

7.9.2 Test method

7.9.2.1 General

The measurement of the coefficient of friction shall be undertaken using the tests in IEC 60773:2021 (method b) by measurement of the tangential force acting on the brush (using a dynamometer) with the following specific conditions for the apparatus:

- The test ring shall be plain copper or copper alloy with or without slots, actual contact wire are also permitted.
- The test samples of the current contact strip material shall be prepared to fit the brush holders of the test rig. The brush-holder pressure shall be set to $(25 \pm 1,25)$ kPa.
- During the bedding, with the current defined by material HC in Table 2 of IEC 60773:2021, (6 to 10) A/cm² is passed with a speed of 30 m/s to 50 m/s, until the patina is sufficient and uniform, also the coefficient of friction is stable. Then the test rig shall be stopped to control the film deposit on the ring, the samples shall be taken out of contact with the test ring and allowed to cool.
- The measurement shall start immediately after the samples are replaced onto the test ring, with the current settled at (6 to 10) A/cm² and speed of 50 m/s, until stable coefficient of friction (μ) has been obtained.

The results shall be recorded in the format defined in IEC 60773, and published in the data sheet. If the test is done within other set parameters than specified in b) and d), it shall be stated on the data sheet.

NOTE Information from testing undertaken on pantograph test facilities and provided by working group members demonstrated that the results from this test are comparable to those seen in practical service.

7.9.2.2 Test acceptance criteria – Type test

The measured coefficient of friction shall be within the manufacturer's declared limits for the contact strip.

7.10 Optional test of the impact resistance of the wearing material

7.10.1 General

This test determines the impact resistance of the running surface of the contract strip and can be used to demonstrate consistent manufacture. This is an optional test, only carried out if requested by the customer who shall agree the selected method.

7.10.2 Test method

The tests shall be undertaken with either:

- the Charpy test as defined in ISO 148-1:2016, or
- the Charpy test as defined in ISO 179-1:2010, or
- the Izod test as defined in ISO 180:2019.

The results shall be recorded in the format defined in the standard, and published in the data sheet.

7.11 Test of the thermal fatigue properties of the contact strip

7.11.1 General

This test determines thermal fatigue properties of the contact strip and can be used to demonstrate consistent manufacture.

7.11.2 Test method – Thermal fatigue test

7.11.2.1 General

The contact strip used in test 7.1.1 shall be thermally cycled from ambient air temperature to the maximum temperature (highest reference temperature measured at the bond T_{cs}) achieved in test 7.1.1 for 100 cycles. The electrical resistance shall be measured before and after the test (see 7.7.2). The shear strength of the contact strip shall be measured at ambient air temperature after the test following the method described for the test for shear strength of the contact strip in 7.4.3. Tests on the pantograph auto-drop detection sensor (7.5.2 and 7.5.4) shall be repeated.

7.11.2.2 Test acceptance criteria

The shear strength of the sample shall:

- remain within the manufacturer's limit,
- have a minimum shear strength of 5 N/mm², and
- not have changed by more than 30 % compared with the value obtained from the sample tested at ambient air temperature as set out in 7.4.2.

The electrical resistance shall have a change, averaged over 10 test point measurements of less than 30 % and remain within the manufacturer's declared resistance limits for the contact strip.

The function of the pantograph auto-drop detection sensor shall not have deteriorated during the test.

After cooling to ambient air temperature the contact strip assembly shall be undamaged. The contact strip is considered to be undamaged if a visual inspection confirms no fissures are visible. In the case of plain carbon, metal impregnated or metal clad carbon strips no fissures shall be visible in the contact material or near the bonding surface. The regular current transmission points including fixing points do not show any sign of thermal overheating. When cooled to ambient air temperature, the contact strip assembly shall remain in accordance with all dimensions defined by the drawings and without any permanent deformation.

The acceptance criteria given for this test are based upon bonded contact strips, for other technologies the acceptance criteria shall be agreed with the customer.

NOTE Either an oven or a hot air gun can be used for this test.

7.12 Optional test of wear properties

7.12.1 General

This test determines the wear behaviour of the contact strip material in certain circumstances with certain contact wires, and can be used to assess the endurance of the contact strip and the impact to the contact wire of the usage of certain contact strips. This is an optional test, the test shall be carried out if a new material is adopted without the proven documents, such as field reference, for suitability to use.

The wear properties of the contact strip material are indicated by height wear ratio (W_h) and mass wear ratio (W_m). The wear property of the contact wire to certain contact strips is indicated by area wear ratio (W_a).

Definition of height wear ratio: $W_h = \frac{h_1 - h_2}{W_k}$ (mm/10⁴ km).

Definition of mass wear ratio: $W_m = \frac{m_1 - m_2}{W_k}$ (g/10⁴ km).

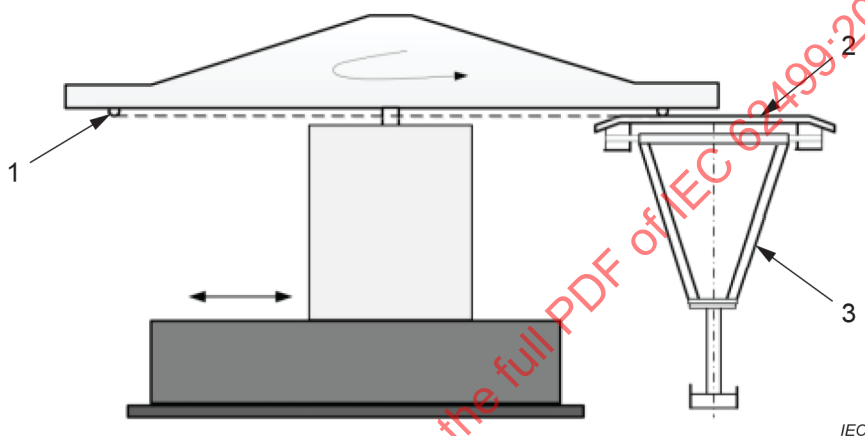
Definition of area wear ratio: $W_r = \frac{A_1 - A_2}{n_{\text{tpp}}}$ (mm²/10⁴ times).

7.12.2 Test method

7.12.2.1 General

This test should be carried out on a certain testing rig (see Figure 12 and Figure 13 as examples). The test samples should be properly installed in the test rig. Factors such as sliding speed, current collection and contact force between contact wire and samples should be reproduced during the wear test.

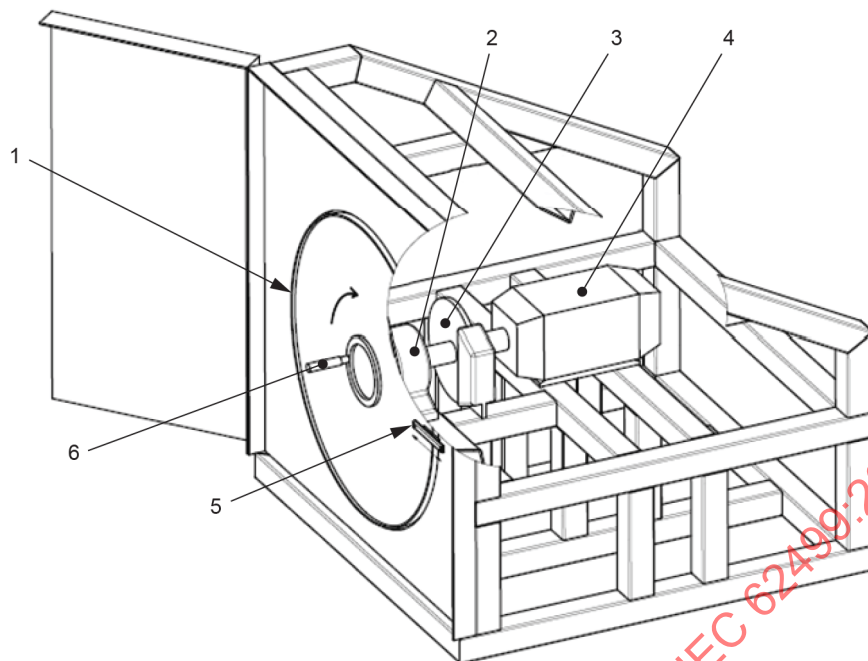
The test rig and specific test parameters should be defined by the supplier and customer.



Key

- 1 contact wire
- 2 contact strip
- 3 pantograph or strip mounting carrier

Figure 12 – Wear test rig example 1



IEC

Key

- 1 contact wire
- 2 bearing
- 3 disk brake
- 4 motor
- 5 specimen
- 6 current connection

Figure 13 – Wear test rig example 2**7.12.2.2 Test acceptance criteria**

The wear properties shall be compliant with the supplier specification and/or any customer specification.

Annex A (informative)

Parameters to be specified by the customer and graphical representation of customer specified values for pantograph automatic dropping device operation

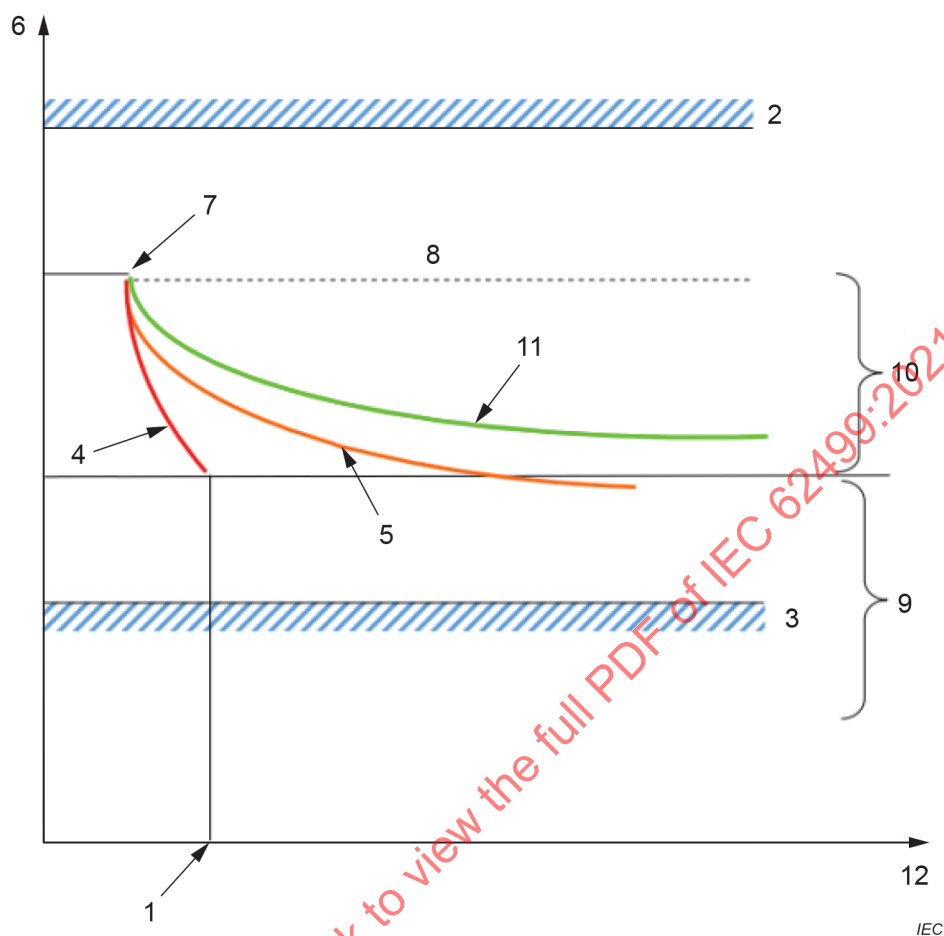
A.1 Parameters to be specified by the customer

The information in this annex is the minimum to be provided to the contact strip manufacturer to achieve the tests described in this document. Other general information is mentioned in the customer specification. See Table A.1.

Table A.1 – Parameters to be specified by the customer

	Parameter	Subclause
1	Replacement of routine tests with sampling tests may be agreed	6.3
2	Customer to define the maximum operating pressure of the pantograph automatic dropping device in service	7.5.2
3	Customer to define the minimum operating pressure of the pantograph automatic dropping device in service	7.5.4 and 7.5.5
4	Customer to define the minimum air flow rate through the contact strip (in standard litres per minute) and the specified pressure for operation of the pantograph auto-drop detection sensor (to respect IEC 60494-1:2013, 6.2.5)	7.5.4
5	Customer to define the minimum air leakage flow rate through the contact strip (in standard litres per minute) and the specified pressure for operation of the pantograph automatic dropping device in service	7.5.5
6	Customer to define the metallic content of the carbon contact strips	7.8
7	Customer to define the temperature to which the contact strip should be cooled	7.2.3
8	Any supplementary tests by prior agreement between customer and manufacturer	

A.2 Graphical representation of customer specified values for pantograph automatic dropping device operation



Key

Customer specified values as defined in Clause A.1

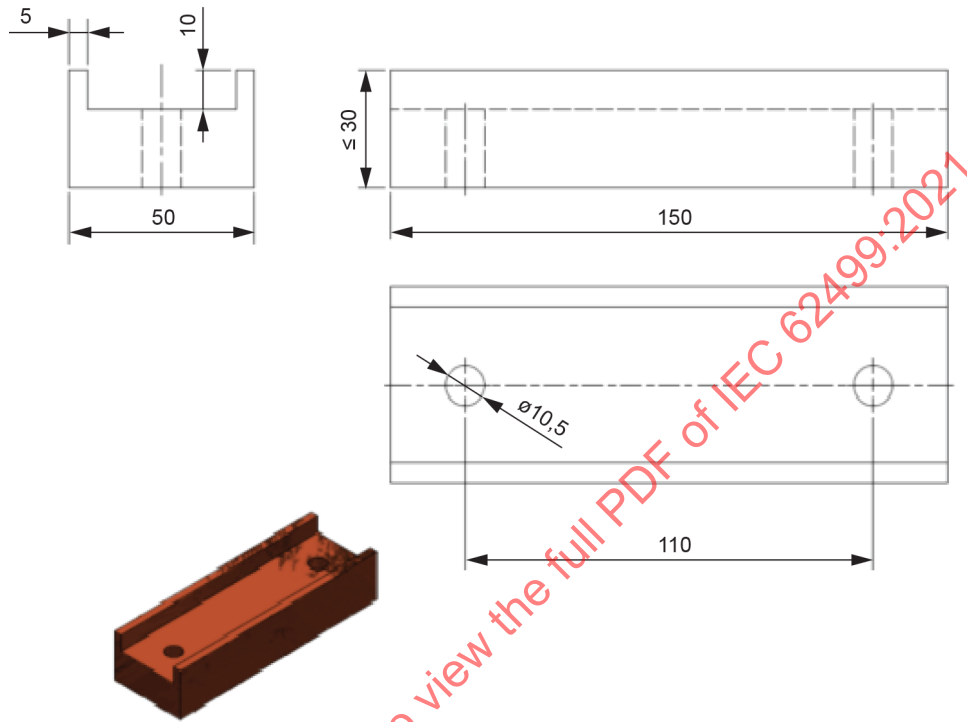
- 1 point at which the operating time is 1 s (as set out in IEC 60494-1:2013, 6.2.5)
- 2 maximum operating pressure of the pantograph automatic dropping device in service
- 3 minimum operating pressure of the pantograph automatic dropping device in service
- 4 minimum air flow rate (in standard litres per minute) and the specified pressure for operation of auto-drop detection sensor (as set out in IEC 60494-1:2013, 6.2.5)
- 5 minimum air leakage flow rate (in standard litres per minute) and the specified pressure for operation of the pantograph automatic dropping device in service
- 6 pressure in the ADD pipe
- 7 breakage or leakage on carbon strip
- 8 operating pressure
- 9 ADD reacts
- 10 ADD does not react
- 11 no reaction (minor damage)
- 12 time ADD pantograph automatic dropping device

Figure A.1 – Graphical representation of customer specified values for pantograph automatic dropping device operation

Annex B (normative)

Current loading test apparatus

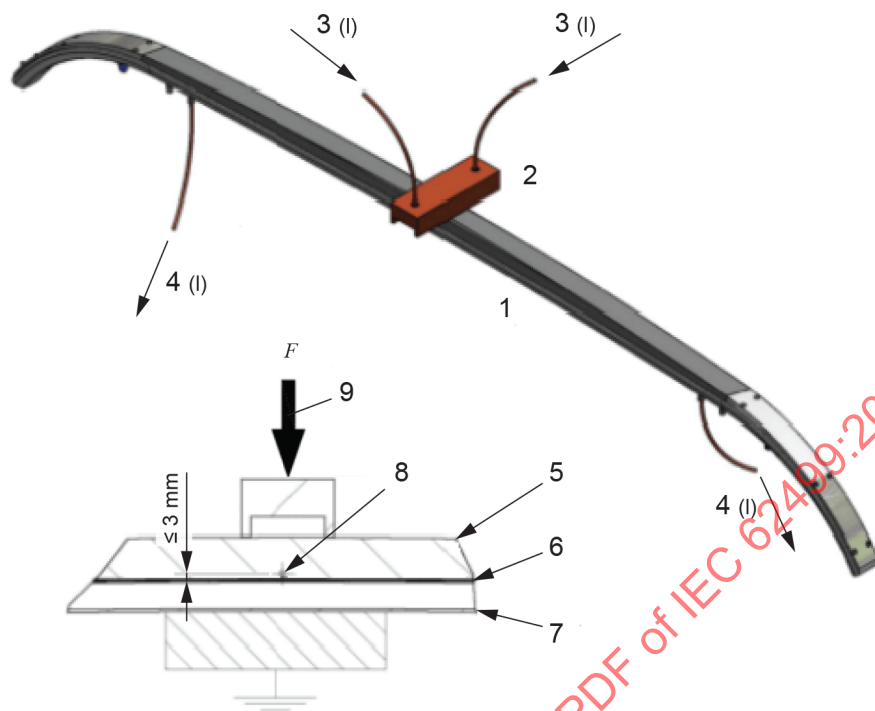
B.1 Current loading test apparatus – copper test electrode



IEC

Figure B.1 – Current loading test apparatus – copper test electrode

B.2 Current loading test apparatus



IEC

Key

- 1 contact strip
- 2 copper test electrode
- 3 current in
- 4 current out
- 5 carbon "wearing material"
- 6 interface
- 7 carrier
- 8 temperature measurement hole (diameter of the hole shall be less than 3,5 mm, and the depth shall be above 10 mm)
- 9 applied force

Figure B.2 – Current loading test apparatus

Bibliography

IEC 60050-811:2017, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 811: Electric traction*

IEC 60494-1:2013, *Railway applications – Rolling stock – Pantographs – Characteristics and tests – Part 1: Pantographs for main line vehicles*

IEC 60494-2, *Railway applications – Rolling stock – Pantographs – Characteristics and tests – Part 2: Pantographs for metros and light rail vehicles*

IEC 62486, *Railway applications – Current collection systems – Technical criteria for the interaction between pantograph and overhead line (to achieve free access)*

ISO 9001, *Quality management systems – Requirements*

ISO 13443, *Natural gas – Standard reference conditions*

EN 50405:2015, *Railway applications – Current collection systems – Pantographs, testing methods for contact strips*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62499:2021

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62499:2021

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	43
1 Domaine d'application	45
2 Références normatives	45
3 Termes et définitions	45
3.1 Généralités	46
3.2 Matériau de la bande de frottement.....	46
3.3 Composition de la bande de frottement	47
4 Symboles et abréviations.....	48
5 Exigences applicables aux fiches techniques.....	49
5.1 Fiches techniques et schémas de conception.....	49
5.2 Matériau de la bande de frottement.....	49
5.3 Caractéristiques de la bande de frottement	50
6 Catégories d'essai et conditions environnementales	50
6.1 Généralités	50
6.2 Essais de type	51
6.3 Essais individuels de série	51
6.4 Environnement.....	51
6.5 Température ambiante	51
6.6 Séquence d'essais	51
7 Procédures d'essai	55
7.1 Essais de caractérisation en température de la bande de frottement sous charge de courant.....	55
7.1.1 Généralités	55
7.1.2 Méthode d'essai – Caractérisation en température de la bande de frottement sous charge de courant.....	55
7.2 Essai de fléchissement et d'extension de la bande de frottement dans des conditions de températures extrêmes.....	56
7.2.1 Généralités	56
7.2.2 Méthode d'essai – Essai à haute température.....	56
7.2.3 Méthode d'essai – Essai à faible température	57
7.3 Essai des caractéristiques de flexion de la bande de frottement.....	57
7.3.1 Généralités	57
7.3.2 Méthode d'essai	57
7.4 Essai de résistance au cisaillement de la bande de frottement.....	58
7.4.1 Généralités	58
7.4.2 Méthode d'essai – Essai à la température ambiante	59
7.4.3 Méthode d'essai – Essai à la température spécifiée	61
7.5 Essai sur le détecteur d'abaissement automatique intégré aux bandes de frottement	62
7.5.1 Généralités	62
7.5.2 Méthode d'essai – Étanchéité	62
7.5.3 Méthode d'essai – Résistance de l'étanchéité à la température	62
7.5.4 Méthode d'essai – Continuité du débit d'air.....	63
7.5.5 Méthode d'essai – Fonctionnement du détecteur d'abaissement automatique en cas de choc	64
7.6 Essai de résistance à la fatigue mécanique de la bande de frottement.....	65
7.6.1 Généralités	65

7.6.2	Méthode d'essai	66
7.7	Essai de résistance électrique de la bande de frottement.....	66
7.7.1	Généralités.....	66
7.7.2	Méthode d'essai	66
7.8	Essai de détermination de la teneur en métal des bandes de frottement en carbone métallisées et des bandes de frottement en métal	67
7.8.1	Généralités.....	67
7.8.2	Méthode 1: pesée des pièces avant et après l'imprégnation	67
7.8.3	Méthode 2: détermination de la masse volumique apparente du matériau avant et après l'imprégnation.....	68
7.8.4	Méthode 3: Pesée des matériaux avant frittage	68
7.9	Essai du coefficient de frottement	68
7.9.1	Généralités.....	68
7.9.2	Méthode d'essai	68
7.10	Essai facultatif de résistance aux chocs du matériau soumis à l'usure	69
7.10.1	Généralités.....	69
7.10.2	Méthode d'essai	69
7.11	Essai des caractéristiques de fatigue thermique de la bande de frottement.....	69
7.11.1	Généralités.....	69
7.11.2	Méthode d'essai – Fatigue thermique	69
7.12	Essai facultatif des caractéristiques d'usure.....	70
7.12.1	Généralités.....	70
7.12.2	Méthode d'essai	71
Annexe A (informative) Paramètres à spécifier par le client et représentation graphique des valeurs spécifiées par le client pour l'enclenchement du dispositif d'abaissement automatique du pantographe.....		73
A.1	Paramètres à spécifier par le client.....	73
A.2	Représentation graphique des valeurs spécifiées par le client pour le déclenchement du dispositif d'abaissement automatique du pantographe	74
Annexe B (normative) Dispositif d'essai sous charge de courant.....		75
B.1	Dispositif d'essai sous charge de courant – Électrode d'essai en cuivre.....	75
B.2	Dispositif d'essai sous charge de courant	76
Bibliographie.....		77
Figure 1 – Exemple de bande de frottement autoportée		48
Figure 2 – Exemple de bande de frottement sans support.....		48
Figure 3 – Dispositif d'essai à haute température.....		56
Figure 4 – Dispositif d'essai des caractéristiques de flexion.....		58
Figure 5 – Préparation de l'échantillon pour l'essai de résistance au cisaillement		59
Figure 6 – Exemple de fixation pour l'essai de résistance au cisaillement		60
Figure 7 – Exemple de dispositif pour l'essai de résistance au cisaillement.....		60
Figure 8 – Exemple d'outil d'application de la force.....		61
Figure 9 – Exemple de dispositif pour l'essai de choc		65
Figure 10 – Exemple de dispositif d'alimentation en air et de système de contrôle		65
Figure 11 – Exemple de dispositif pour l'essai de résistance électrique.....		67
Figure 12 – Exemple 1 de montage d'essai d'usure.....		71
Figure 13 – Exemple 2 de montage d'essai d'usure.....		72

Figure A.1 – Représentation graphique des valeurs spécifiées par le client pour le déclenchement du dispositif d'abaissement automatique du pantographe	74
Figure B.1 – Dispositif d'essai sous charge de courant – Électrode d'essai en cuivre.....	75
Figure B.2 – Dispositif d'essai sous charge de courant	76
Tableau 1 – Calendrier des essais	52
Tableau 2 – Séquence d'essais	54
Tableau 3 – Courant d'essai	55
Tableau 4 – Conditions d'essai – Essai de résistance à la fatigue mécanique de la bande de frottement	66
Tableau A.1 – Paramètres à spécifier par le client	73

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62499:2021

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**APPLICATIONS FERROVIAIRES – SYSTÈMES DE CAPTAGE DE
COURANT – MÉTHODES D'ESSAI DES BANDES DE FROTTEMENT DES
PANTOGRAPHES****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'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.

L'IEC 62499 a été établie par le comité d'études 9 de l'IEC: Matériels et systèmes électriques ferroviaires. Il s'agit d'une Norme internationale.

Elle est basée sur l'EN 50405:2015.

Cette seconde édition annule et remplace la première édition parue en 2008. Cette édition constitue une révision technique.

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

- a) le titre a été modifié;

- b) la présente norme ne s'applique plus exclusivement aux bandes de frottement en carbone, mais aux bandes de frottement en général;
- c) plusieurs normes de référence ont été remplacées;
- d) plusieurs termes et abréviations ont été ajoutés;
 - les concepts de "bande de frottement métallisée" et de "bande de frottement en métal" ont été introduits, sur la base de la teneur en métal ou en carbone en pourcentage du poids;
 - les concepts de "structures" et de "types de bandes de frottement" ont été introduits;
- e) des exigences relatives aux fiches techniques ont été formulées;
- f) le Tableau 1: Calendrier des essais et le Tableau 2: Séquence d'essais ont été ajoutés;
- g) les exigences applicables à certaines méthodes d'essai et à certains critères d'acceptation de l'essai ont été mises à jour;
- h) l'essai de détermination de la teneur en métal des bandes de frottement métallisées, l'essai du coefficient de frottement, l'essai facultatif d'évaluation de la résistance aux chocs du matériau carbone et l'essai facultatif des caractéristiques d'usure ont été ajoutés;
- i) l'Annexe A et l'Annexe B ont été ajoutées.

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

Projet	Rapport de vote
9/2762/FDIS	9/2773/RVD

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

La langue utilisée lors du développement de la présente Norme internationale est l'anglais.

Le présent document a été rédigé conformément aux Directives ISO/IEC, Partie 2, puis développé conformément aux Directives ISO/IEC, Partie 1 et aux Directives ISO/IEC, Supplément de l'IEC, disponibles à l'adresse www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détails à l'adresse www.iec.ch/standardsdev/publications.

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 dans les données relatives au document recherché. À cette date, la publication sera

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

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

APPLICATIONS FERROVIAIRES – SYSTÈMES DE CAPTAGE DE COURANT – MÉTHODES D'ESSAI DES BANDES DE FROTTEMENT DES PANTOGRAPHES

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie les méthodes d'essai pour les bandes de frottement de fabrication récente. Certains essais peuvent ne pas s'appliquer à tous les types de bandes de frottement. Le présent document ne couvre pas les essais qui nécessitent un pantographe particulier. Des essais complémentaires (ne relevant pas du domaine d'application du présent document) peuvent être nécessaires pour déterminer si des bandes de frottement sont adaptées à une application donnée; ces essais sont soumis à l'accord préalable entre le client et le fabricant.

NOTE Le client peut être l'intégrateur du système, le constructeur, l'acheteur ou l'opérateur du véhicule, l'acheteur du pantographe ou une autorité de surveillance.

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 60413:1972, *Méthodes d'essai pour la mesure des propriétés physiques des matières de balais pour machines électriques*

IEC 60773:2021, *Machines électriques tournantes – Méthodes d'essai et appareils pour le mesurage des caractéristiques opérationnelles des balais*

ISO 148-1:2016, *Matériaux métalliques – Essai de flexion par choc sur éprouvette Charpy – Partie 1: Méthode d'essai*

ISO 179-1:2010, *Plastiques – Détermination des caractéristiques au choc Charpy – Partie 1: Essai de choc non instrumenté*

ISO 180:2019, *Plastiques – Détermination de la résistance au choc Izod*

ISO 6508-1, *Matériaux métalliques – Essai de dureté Rockwell – Partie 1: Méthode d'essai*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et les définitions suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

3.1 Généralités

3.1.1

continuité du débit d'air

débit d'air ininterrompu

3.1.2

débit d'air

débit, en litres standard par minute, basé sur le flux de masse à calculer pour les conditions normales de température et de pression

Note 1 à l'article: Le débit d'air est référencé à une température de 15 °C (288,15 K, 59 °F) et à une pression absolue de 101,325 kPa (1,013 25 bar, 1 atm (atmosphère normale)).

Note 2 à l'article: Le débit d'air repose sur les conditions normales de température et de pression définies dans l'ISO 13443.

3.1.3

détecteur d'abaissement automatique

fonction intégrée à la bande de frottement, qui déclenche le dispositif d'abaissement automatique du pantographe

Note 1 à l'article: Les essais spécifiés dans le présent document concernent exclusivement les dispositifs d'abaissement automatique du pantographe de type pneumatique.

3.1.4

dispositif d'abaissement automatique du pantographe

ADD (Automatic Dropping Device)

dispositif destiné à abaisser automatiquement le pantographe lorsqu'il est endommagé

Note 1 à l'article: L'avarie peut concerner les bandes de frottement et la semelle du pantographe, ainsi que les autres parties du pantographe.

[SOURCE: IEC 60050-811:2017, 811-32-22]

3.1.5

courant assigné <de la bande de frottement>

valeur de courant assignée que doit supporter la bande de frottement pendant sa durée de vie prévue sans dégradation, dans les conditions de fonctionnement et les conditions environnementales spécifiées

3.1.6

résistance au cisaillement

force qui peut être supportée sans rupture du matériau carbone ni rétention entre le matériau soumis à l'usure et l'étrier intégré

3.2 Matériau de la bande de frottement

3.2.1

bande de frottement en carbone

terme global désignant une bande de frottement en carbone métallisée ou simple

3.2.2

bande de frottement en carbone simple

bande constituée de carbone dur, sans éléments métalliques ajoutés

Note 1 à l'article: Ce matériau peut contenir des additifs, notamment de l'huile, de la cire ou de la résine.

3.2.3

bande de frottement en carbone métallisée

bande constituée de carbone et de métal, avec une teneur en métal supérieure ou égale à 65 % du poids

Note 1 à l'article: Ce matériau peut contenir des additifs et peut être imprégné d'huile, de cire ou de résine.

3.2.4

bande de frottement en métal

bande majoritairement constituée de métal ou d'alliage de métal et dont la teneur en métal ou en alliage de métal est supérieure à 65 % du poids

3.3 Composition de la bande de frottement

NOTE Les concepts décrits en 3.3 peuvent ne pas inclure les composants suivants:

- un détecteur d'abaissement automatique;
- des courbures intégrées aux extrémités;
- un dispositif de protection contre les arcs pour les supports intégrés, soit à travers des composants supplémentaires ou un revêtement, soit via le carbone enveloppant l'étrier intégré.

3.3.1

bande de frottement en carbone collée

bande de frottement en carbone liée de manière permanente, par collage, à un étrier intégré

3.3.2

étrier <de bande de frottement>

structure soutenant la bande de frottement, mais qui n'y est pas liée de manière permanente, utilisée comme interface avec la base de la semelle du pantographe ou avec le point de montage du pantographe

3.3.3

bande de frottement à revêtement en cuivre

bande de frottement en carbone enveloppée dans une gaine solide en cuivre, le cuivre des faces avant et arrière s'étendant de la base à la surface de contact du carbone

Note 1 à l'article: Souvent appelée "bande de frottement de Kasperowski".

3.3.4

bande de frottement en carbone ajustée

bande de frottement en carbone liée de manière permanente à un étrier intégré, sans collage ni soudure

Note 1 à l'article: Cette définition inclut notamment les bandes en carbone serties, enroulées ou pressées dans un étrier.

3.3.5

étrier intégré

structure soutenant la bande de frottement, et qui y est liée de manière permanente, sans support supplémentaire entre la bande de frottement et la base de la semelle du pantographe ou les points de montage du pantographe

3.3.6

bande de frottement composite en métal et carbone

bande de frottement constituée de couches verticales de métal mélangées à des couches de carbone, liée de manière permanente à un étrier

3.3.7

autoportée

bande de frottement qui ne nécessite aucun support supplémentaire entre les points de montage utilisés comme interface entre la bande de frottement et le pantographe (voir Figure 1)



Figure 1 – Exemple de bande de frottement autoportée

3.3.8

bande de frottement en carbone soudée

bande de frottement en carbone liée de manière permanente, par soudure, à un étrier intégré

3.3.9

sans support

bande de frottement nécessitant d'être montée à une structure de support supplémentaire (un étrier) avant d'être fixée au pantographe (voir Figure 2)



Légende

- 1 bande de frottement
- 2 étrier (par exemple)

Figure 2 – Exemple de bande de frottement sans support

3.3.10

bande de frottement en carbone boulonnée

bande de frottement en carbone qui peut être directement boulonnée à un étrier

4 Symboles et abréviations

A	surface d'adhésion de conception (mm ²)
F_s	force de cisaillement (N)
R	résistance (Ω)
T_s	résistance au cisaillement (N/mm ²)
T_{cs}	température maximale de la bande de frottement au niveau de l'interface entre l'étrier et le "matériau soumis à l'usure" déterminée par l'essai du 7.1 (°C). La température est mesurée au niveau du "matériau soumis à l'usure" immédiatement adjacent à l'interface.

$T_{\max}$	température limite à laquelle se maintient la résistance au cisaillement de la liaison à la valeur minimale déterminée par l'essai du 7.4.3 (°C). Concerne les bandes de frottement en carbone collées. La température est mesurée au niveau du carbone immédiatement adjacent à l'interface.
W_{bi}	poids de la pièce avant l'imprégnation
W_{ai}	poids de la pièce après l'imprégnation
AD_b	masse volumique apparente de l'échantillon avant l'imprégnation
AD_a	masse volumique apparente de l'échantillon après l'imprégnation
Δh	fléchissement vertical au milieu de la bande de frottement (un fléchissement vers le haut correspond à une valeur positive)
Δl	variation de longueur de la bande de frottement (une augmentation de la longueur correspond à une valeur positive)
F	force de contact pour l'essai du 7.1.2
A_1	section initiale du fil de contact (mm ²)
A_2	section du fil de contact après usure (mm ²)
h_1	hauteur initiale de l'échantillon de bande de frottement (mm)
h_2	hauteur de l'échantillon de bande de frottement après usure (mm)
m_1	masse initiale de l'échantillon de bande de frottement (g)
m_2	masse de l'échantillon de bande de frottement après usure (g)
W_k	distance d'essai (10 ⁴ km)
n_{tp}	nombre de passages d'un pantographe à travers un fil de contact (10 ⁴ itérations)
W_h	rapport hauteur/usure (mm/10 ⁴ km)
W_m	rapport masse/usure (g/10 ⁴ km)
W_a	rapport surface/usure (mm ² /10 ⁴ itérations)
W_c	poids de la poudre de carbone
W_{me}	poids de la poudre de métal
μ	coefficient de frottement

5 Exigences applicables aux fiches techniques

5.1 Fiches techniques et schémas de conception

Il convient que les caractéristiques du matériau de la bande de frottement soient indiquées dans une fiche technique et un schéma de conception.

5.2 Matériau de la bande de frottement

Les informations suivantes sont fournies à titre d'exemple:

- la désignation de la qualité par le fabricant;
- la dureté selon l'IEC 60413 ou l'ISO 6508-1;
- la masse volumique selon l'IEC 60413;
- la caractéristique de flexion selon l'IEC 60413;
- la résistivité électrique selon l'IEC 60413;
- le pourcentage d'imprégnation de métal conformément au 7.8 et la valeur de tolérance associée;
- le coefficient de frottement conformément au 7.9;

h) le type de matériau, par exemple: carbone simple.

NOTE Pour les bandes de frottement en métal, les informations sont fournies conformément aux normes pertinentes.

5.3 Caractéristiques de la bande de frottement

Les informations suivantes sont fournies à titre d'exemple:

- a) la composition de la bande de frottement conformément au 3.3 et au Tableau 1;
- b) les références des fiches techniques et des schémas;
- c) le registre des garanties de conformité aux normes applicables et des certifications;
- d) les dimensions, les tolérances et les schémas de conception (exigences spécifiques incluses);
- e) le poids (neuf et complètement usé), tolérances comprises;

NOTE 1 Le poids après usure, s'il est indiqué, est une estimation réalisée sur la base des conditions d'exploitation.

f) le courant assigné en fonctionnement;

NOTE 2 Le courant assigné est défini par le fabricant et le client, et il incombe au fabricant de prouver que cette valeur est respectée.

g) la limite d'usure;

NOTE 3 La méthode de détermination de la limite d'usure et la base sur laquelle elle s'appuie sont indiquées par le fabricant.

h) la valeur de T_{cs} déterminée par l'essai du 7.1;

i) la valeur de T_{max} déterminée par l'essai du 7.4.3;

j) la pression maximale et minimale de fonctionnement pour une utilisation avec un dispositif d'abaissement automatique du pantographe;

k) le débit d'air (en litres standard par minute) à la pression minimale pour une utilisation avec un dispositif d'abaissement automatique du pantographe;

l) le débit de fuite d'air minimal (en litres standard par minute) à la pression spécifiée correspondant au fonctionnement du dispositif d'abaissement automatique;

NOTE 4 Ce paramètre se rapporte à l'IEC 60494-1:2013, 4.9. La valeur est communiquée par le fabricant du pantographe au fabricant de la bande de frottement en carbone pour les besoins du contrôle fonctionnel du détecteur d'abaissement automatique défini au 7.5.5.

m) le débit d'air minimal (en litres standard par minute) à la pression spécifiée, pour le fonctionnement du détecteur d'abaissement automatique.

NOTE 5 Ce paramètre est défini afin de respecter le temps de réaction inférieur ou égal à 1 s qui est spécifié dans l'IEC 60494-1:2013, 6.2.5 pour un pantographe donné. La valeur est communiquée par le fabricant du pantographe au fabricant de la bande de frottement en carbone pour les besoins de l'essai de continuité du débit d'air défini au 7.5.4.

6 Catégories d'essai et conditions environnementales

6.1 Généralités

Il existe deux catégories d'essais:

- les essais de type;
- les essais individuels de série.

Les essais ci-dessus sont décrits en 6.2 et 6.3.

Des essais complémentaires peuvent être exigés s'ils ont été spécifiés dans les spécifications du client et après accord avec le fournisseur.

6.2 Essais de type

Les essais de type doivent être réalisés sur des échantillons d'une configuration donnée, conformément au calendrier des essais indiqué dans le Tableau 1 et le Tableau 2.

Les configurations de fabrication courante doivent être considérées comme ayant satisfait aux essais de type si le fabricant peut fournir des rapports d'essais de type (conformes aux exigences d'essai spécifiées dans le présent document) qui ont déjà été menés avec succès sur des composants identiques.

NOTE L'IEC 60494-1:2013, 6.12.3 spécifie un essai combiné mené par le client pendant l'essai en ligne du pantographe du véhicule.

6.3 Essais individuels de série

Les essais individuels de série doivent être exécutés conformément au calendrier des essais indiqué dans le Tableau 1 afin de vérifier que les caractéristiques d'un produit correspondent à celles déterminées lors de l'essai de type. Les essais individuels de série doivent être effectués sur chaque pièce d'équipement fournie, sauf échantillonnage spécifié par le client.

6.4 Environnement

L'essai doit être effectué en intérieur, dans un environnement largement protégé des courants d'air, à l'exception des courants d'air générés par la chaleur émise par l'échantillon soumis à l'essai. Dans la pratique, cette condition est respectée lorsque la vitesse de l'air ne dépasse pas 0,5 m/s.

6.5 Température ambiante

La température ambiante est la température moyenne de l'air autour de l'échantillon. Elle doit être consignée pendant les essais.

La température ambiante pendant les essais doit être comprise entre +15 °C et +30 °C. Les augmentations de la température ambiante ne doivent pas être corrigées si cette plage est respectée.

Tous les essais doivent être effectués à la température ambiante, sauf spécification contraire.

6.6 Séquence d'essais

Les essais doivent être réalisés selon l'ordre indiqué dans le Tableau 2, le même échantillon étant utilisé pour les essais successifs indiqués dans chaque colonne.

NOTE La séquence d'essais du Tableau 2 est définie de manière à limiter le nombre d'échantillons nécessaires. L'échantillon A est soumis à une série complète d'essais afin de démontrer sa capacité à résister aux contraintes auxquelles sont soumises les bandes de frottement en service. Au moins quatre échantillons de bandes de frottement associés à des échantillons de matériaux peuvent être préparés pour effectuer la série d'essais complète.

Tableau 1 – Calendrier des essais

	Essai de type												Essais individuels de série		
Type	Bandes de frottement en carbone collées		Bandes de frottement en carbone soudées		Bandes de frottement en carbone ajustées		Bandes de frottement à revêtement en cuivre ^g		Bandes de frottement composites en métal et carbone ^g		Bandes de frottement en métal ^g		Bandes de frottement en carbone boulonnées		
Essai	Auto-portées	Sans support	Auto-portées	Sans support	Auto-portées	Sans support	Auto-portées	Sans support	Auto-portées	Sans support	Auto-portées	Sans support	Auto-portées	Sans support	
7.1 Essais de caractérisation en température de la bande de frottement sous charge de courant	Oui		Oui		Oui		Oui		Oui		Oui		Oui		
7.2 Essai de fléchissement et d'extension de la bande de frottement dans des conditions de températures extrêmes	Oui		Oui		Oui		Oui		Oui		Oui		Oui	Non	
7.3 Essai des caractéristiques de flexion de la bande de frottement	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	
7.4 Essai de résistance au cisaillement de la bande de frottement	Oui		Oui ^e		Non		Non		Oui (pour une bande collée ou soudée)		Non		Non		
7.5.2 Essai d'intégrité de l'étanchéité du dispositif d'abaissement automatique du pantographe	Oui ^a		Oui ^a		Oui ^a		Oui ^a		Oui ^a		Oui ^a		Oui ^a		R ^a
7.5.3 Essai de température de l'étanchéité du dispositif d'abaissement automatique du pantographe	Oui ^a		Oui ^a		Oui ^a		Oui ^a		Oui ^a		Oui ^a		Oui ^a		
7.5.4 Essai de continuité du débit d'air du dispositif d'abaissement automatique du pantographe	Oui ^a		Oui ^a		Oui ^a		Oui ^a		Oui ^a		Oui ^a		Oui ^a		R ^a
7.5.5 Essai de fonctionnement du détecteur d'abaissement automatique en cas de choc	Oui ^a	Oui ^{a,c}	Oui ^a	Oui ^{a,c}	Oui ^a	Oui ^{a,c}	Non ^{a,b,c}	Oui ^a	Oui ^{a,c}		Non ^{a,b,c}	Oui ^a	Oui ^a	Oui ^{a,c}	
7.6 Essai de résistance à la fatigue mécanique de la bande de frottement	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	
7.7 Essai de résistance électrique de la bande de frottement	Oui		Oui (essai de type exclusivement)		Oui (essai de type exclusivement)		Oui (essai de type exclusivement)		Oui (pour un essai de type sur bande collée ou soudée exclusivement)		Non	Oui (essai de type exclusivement)	Oui (essai de type exclusivement)	R (pour une bande collée exclusivement)	

	Essai de type												Essais individuels de série
Type	Bandes de frottement en carbone collées		Bandes de frottement en carbone soudées		Bandes de frottement en carbone ajustées		Bandes de frottement à revêtement en cuivre ^g		Bandes de frottement composites en métal et carbone ^g		Bandes de frottement en carbone boulonnées		
Essai	Auto-portées	Sans support	Auto-portées	Sans support	Auto-portées	Sans support	Auto-portées	Sans support	Auto-portées	Sans support	Auto-portées	Sans support	
7.8 Essai de détermination de la teneur en métal des bandes de frottement en carbone métallisées et des bandes de frottement en métal	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui (pour la partie en carbone)	Oui (pour la partie en carbone)	Oui (pour la partie en carbone)	Oui (pour la partie en carbone)	Oui	Oui	
7.9 Essai du coefficient de frottement	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui (pour la partie en carbone)	Oui (pour la partie en carbone)	Oui (pour la partie en carbone)	Oui (pour la partie en carbone)	Oui	Oui	
7.10 Essai facultatif de résistance aux chocs du matériau carbone	Non ^d	Non ^d	Non ^d	Non ^d	Non ^d	Non ^d	Non ^d	Non ^d	Non ^d	Non ^d	Non ^d	Non ^d	
7.11 Essai des caractéristiques de fatigue thermique de la bande de frottement	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui (pour une bande collée ou soudée)	Oui (pour une bande collée ou soudée)	Oui (pour une bande collée ou soudée)	Non	Non	
7.12 Essai facultatif des caractéristiques d'usure	Non ^h	Non ^h	Non ^h	Non ^h	Non ^h	Non ^h	Non ^h	Non ^h	Non ^h	Non ^h	Non ^h	Non ^h	
^a Essai requis exclusivement si les bandes de frottement comportent un détecteur d'abaîssement automatique. ^b L'énergie d'impact nécessaire pour provoquer des dommages suffisants pour activer le détecteur d'abaîssement automatique du pantographe avec une bande de frottement à revêtement de cuivre ou une bande de frottement en métal est extrêmement élevée comparée à celle nécessaire pour une bande de frottement en carbone collée ou soudée. Le fabricant et le client déterminent si l'essai est pertinent pour ce type de bande de frottement. ^c Pour les bandes de frottement sans support, les performances du dispositif d'abaîssement automatique du pantographe peuvent dépendre de l'étrier monté sur le pantographe. L'essai est réalisé sur l'assemblage complet. Il incombe au client de fournir les composants de support supplémentaires nécessaires pour effectuer cet essai. ^d Essai facultatif, à réaliser seulement sur demande spécifique du client. ^e Si l'étrier est suffisamment large pour se fixer par serrage au dispositif d'essai. ^f Pour les bandes de frottement en métal, les informations doivent être fournies conformément aux normes pertinentes. ^g Ces bandes de frottement sont autorisées (si le registre de l'infrastructure le permet) aux conditions suivantes: – elles sont référencées dans des normes reconnues; – elles ont été soumises à un essai qui a démontré qu'elles étaient adaptées à l'utilisation visée. L'essai doit être effectué s'il est prévu d'utiliser un nouveau matériau, sans document (par exemple, référence d'utilisation sur le terrain) démontrant qu'il était adapté.													

a Essai requis exclusivement si les bandes de frottement comportent un détecteur d'abaissement automatique.

L'énergie d'impact nécessaire pour provoquer des dommages suffisants pour activer le détecteur d'abaissement automatique du pantographe avec une bande de frottement à revêtement de cuivre ou une bande de frottement en métal est extrêmement élevée comparée à celle de frottement en carbone collée ou soudée. Le fabricant et le client déterminent si l'essai est pertinent pour ce type de bande de frottement.

Pour les bandes de frottement sans support, les performances du dispositif d'abaissement automatique du pantographe peuvent dépendre de l'étrier monté sur le pantographe. L'essai est réalisé sur l'assemblage complet. Il incombe au client de fournir les composants de support supplémentaires nécessaires pour effectuer cet essai.

Essai facultatif, à réaliser seulement sur demande spécifique du client.

^a Si l'étrier est suffisamment large pour se fixer par serrage au dispositif d'essai.

Pour les bandes de frottement en métal, les informations doivent être fournies conformément aux normes pertinentes.

Ces bandes de frottement sont autorisées (si le registre de l'infrastructure le permet) aux conditions suivantes:

- elles sont référencées dans des normes reconnues, qui mentionnent les éventuelles restrictions; ou elles ont été soumises à un essai qui a démontré qu'elles étaient adaptées à l'utilisation visée.

L'essai doit être effectué s'il est prévu d'utiliser un nouveau matériau, sans document (par exemple, référence d'utilisation sur le terrain) démontrant qu'il était adapté.

Tableau 2 – Séquence d'essais

Type	Échantillon A	Échantillon B	Échantillon C	Échantillon D	Échantillons individuels
Essai	Séquence d'essais	Séquence d'essais	Séquence d'essais	Séquence d'essais	
7.1 Essais de caractérisation en température de la bande de frottement sous charge de courant	4				
7.2 Essai de fléchissement et d'extension de la bande de frottement dans des conditions de températures extrêmes	5				
7.3 Essai des caractéristiques de flexion de la bande de frottement		3 (avec 7.5.2)			
7.4 Essai de résistance au cisaillement de la bande de frottement	14 (à la température ambiante, comme spécifié en 7.11)			1 (7.4.2) et (7.4.3)	
7.5.2 Essai d'intégrité de l'étanchéité du dispositif d'abaissement automatique du pantographe	2, 9 et 12	2, 5 (à la limite d'usure)	2		
7.5.3 Essai de température de l'étanchéité du dispositif d'abaissement automatique du pantographe	6				
7.5.4 Essai de continuité du débit d'air du dispositif d'abaissement automatique du pantographe		4	3		
7.5.5 Essai de fonctionnement du détecteur d'abaissement automatique en cas de choc			4		
7.6 Essai de résistance à la fatigue mécanique de la bande de frottement	7				
7.7 Essai de résistance électrique de la bande de frottement	1, 8 et 11	1	1		
7.8 Essai de détermination de la teneur en métal des bandes de frottement en carbone métallisées et des bandes de frottement en métal					Échantillon de matériau ^a
7.9 Essai du coefficient de frottement					Échantillon de matériau ^a
7.10 Essai facultatif de résistance aux chocs du matériau carbone					Échantillon de matériau ^a
7.11 Essai des caractéristiques de fatigue thermique de la bande de frottement	10				
7.12 Essai facultatif des caractéristiques d'usure					Échantillon
^a Il n'est pas nécessaire de prélever les échantillons de matériau sur une bande de frottement terminée.					

7 Procédures d'essai

7.1 Essais de caractérisation en température de la bande de frottement sous charge de courant

7.1.1 Généralités

Ces essais ont pour objet de déterminer la température de la bande de frottement lorsqu'elle est parcourue par un courant; la température T_{cs} est utilisée comme référence pour les essais suivants. Si la valeur T_{cs} mesurée lors de cet essai est inférieure à 100 °C, alors une valeur de 100 °C doit être utilisée pour les essais suivants.

Cet essai a pour objet de démontrer que la conception de la bande permet de dissiper l'énergie sous charge de courant, de sorte que la limite de température maximale prévue ne soit pas franchie lorsque l'équilibre thermique est atteint.

La température doit être mesurée en continu (l'intervalle de consignation ne doit pas dépasser 1 min) afin de déterminer la température stabilisée atteinte à la charge de courant définie. La méthode recommandée pour déterminer la température stabilisée est définie comme suit: la température stabilisée est considérée acceptée lorsque la variation de température enregistrée est inférieure à 2 °C sur une période de 10 min ou lorsque la durée sous charge de courant est supérieure à 1,5 h.

Cet essai permettra d'effectuer des comparaisons entre fabricants selon un essai normalisé.

Cet essai doit être effectué à la température ambiante (voir 6.5).

7.1.2 Méthode d'essai – Caractérisation en température de la bande de frottement sous charge de courant

Cet essai doit déterminer la température T_{cs} de la bande de frottement lorsqu'elle est parcourue par un courant défini. Un courant (dont la valeur est choisie dans le Tableau 3) doit entrer, via une électrode d'essai normalisée, par la surface supérieure de la bande de frottement soumise à l'essai, puis ressortir via les points de connexion électriques normaux de la bande de frottement.

Tableau 3 – Courant d'essai

Courant d'essai alternatif	bande de frottement en carbone simple	300 A
	bande de frottement en carbone métallisée	300 A
	autres types de bandes de frottement	300 A
Courant d'essai continu	bande de frottement en carbone simple	300 A
	bande de frottement en carbone métallisée	10 A par mm de largeur de la bande de frottement
	autres types de bandes de frottement	600 A

L'électrode d'essai en cuivre doit avoir la forme représentée à la Figure B.1. La bande de frottement doit être placée à plat sur la surface en contact avec l'électrode d'essai en cuivre, puis être maintenue avec une force de contact maximale (F) de 1 500 N. Le nombre de connexions de courant et leur position doivent permettre une répartition homogène du courant dans l'électrode d'essai en cuivre. La Figure B.2 représente la configuration du dispositif d'essai et le point de mesure de la température. La même configuration d'électrode est utilisée pour les applications en courant alternatif et en courant continu.

NOTE 1 Cette valeur de courant est exclusivement destinée aux essais; elle ne reflète pas les limites de conception en fonctionnement pour la bande de frottement. Les valeurs d'essai et les configurations d'essai ont été déterminées dans le cadre d'essais réalisés par les fabricants qui ont contribué au groupe de travail.

NOTE 2 La force de contact d'essai est exclusivement destinée aux essais. Si nécessaire, l'étrier de la bande de frottement peut être renforcé pour obtenir la force de contact nécessaire.

NOTE 3 L'électrode d'essai en cuivre est spécifiée exclusivement pour les besoins de l'essai. Les résultats obtenus par cette électrode d'essai en cuivre ont été vérifiés par comparaison aux résultats obtenus en service.

7.2 Essai de fléchissement et d'extension de la bande de frottement dans des conditions de températures extrêmes

7.2.1 Généralités

Cet essai a pour objet de déterminer le fléchissement vertical et les variations de longueur de la bande de frottement sous l'effet de températures extrêmes.

NOTE Cet essai peut être effectué sur les bandes de frottement qui forment la partie centrale de la semelle du pantographe et qui en constituent le pourtour. Dans ce cas, il peut être important que le changement de configuration respecte les limites de conception définies.

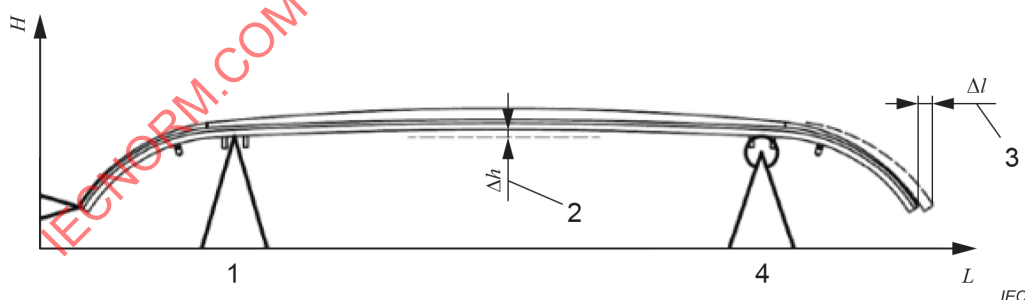
7.2.2 Méthode d'essai – Essai à haute température

7.2.2.1 Généralités

Cet essai a pour objet de déterminer les modifications qui s'opèrent dans la configuration de la bande lorsque celle-ci est chauffée à la température T_{cs} ; il doit démontrer que ces fléchissements respectent la limite d'élasticité et que les déformations sont compatibles avec la technologie d'assemblage de la semelle du pantographe.

La température de la bande de frottement doit être portée à T_{cs} . Les mesures doivent être réalisées lorsque la température s'est stabilisée.

La variation de longueur de la bande de frottement (Δl) et le fléchissement vertical au milieu de la bande de frottement (Δh) par rapport à la position à la température ambiante (voir 6.5) doivent être mesurés et consignés (voir Figure 3), de même que la température ambiante et la température de la bande de frottement.



Légende

- 1 support d'extrémité fixe au niveau des positions de montage de l'interface
- 2 fléchissement vertical (Δh) au centre de la bande de frottement (un fléchissement vers le haut correspond à une valeur positive)
- 3 variation de longueur (Δl) de la bande de frottement (une augmentation de la longueur correspond à une valeur positive)
- 4 support d'extrémité libre au niveau des positions de montage de l'interface

Figure 3 – Dispositif d'essai à haute température

7.2.2.2 Critères d'acceptation de l'essai

Les dimensions h et l doivent respecter les limites définies sur le schéma de conception après retour à la température ambiante (voir 6.5). Δh et Δl doivent être mesurés et consignés avec la température ambiante et la température de la bande de frottement.

Après refroidissement à la température ambiante (voir 6.5), la bande de frottement doit être intacte. La bande de frottement est considérée comme n'étant pas endommagée si l'examen visuel ne révèle aucune fissure. Aucune fissure ne doit être visible sur le matériau de frottement ou à proximité de la surface de liaison. Les points de transmission de courant normaux, notamment les points de fixation, ne montrent aucun signe de surchauffe thermique.

NOTE L'essai d'étanchéité décrit en 7.5.3.1 peut être combiné à cet essai.

7.2.3 Méthode d'essai – Essai à faible température

7.2.3.1 Généralités

Cet essai doit être effectué après l'essai du 7.2.2, sur les mêmes échantillons.

La bande de frottement doit être refroidie jusqu'à ce qu'elle atteigne une température de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Δh et Δl doivent être mesurés et consignés avec la température ambiante et la température de la bande de frottement.

7.2.3.2 Critères d'acceptation de l'essai

Les dimensions h et l doivent respecter les limites définies sur le schéma de conception après retour à la température ambiante (voir 6.5). Δh et Δl doivent être mesurés et consignés avec la température ambiante et la température de la bande de frottement. Aucune fissure visible et aucune déformation permanente ne doivent être observées.

NOTE L'essai d'étanchéité décrit en 7.5.3.2 peut être combiné à cet essai.

7.3 Essai des caractéristiques de flexion de la bande de frottement

7.3.1 Généralités

Cet essai a pour objet de déterminer les caractéristiques de flexion de la bande de frottement à la température ambiante (voir 6.5).

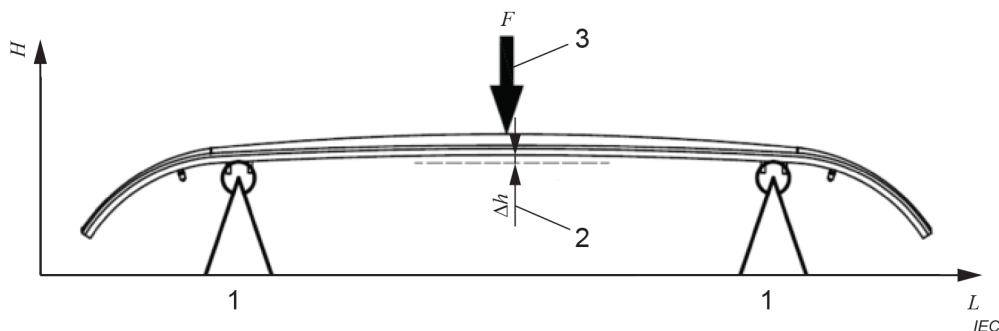
7.3.2 Méthode d'essai

7.3.2.1 Généralités

Les caractéristiques de flexion (sous forme graphique) doivent être déterminées à partir de la courbure en trois points de la bande de frottement complète lorsqu'elle est soutenue librement au niveau des points de montage normaux, à chaque extrémité, le long de la ligne médiane longitudinale de la bande de frottement, et chargée verticalement en son centre (au moyen d'une presse hydraulique ou mécanique, par exemple). L'outil utilisé pour appliquer la force d'essai doit avoir un rayon minimal de 4 mm. La force doit être appliquée perpendiculairement à la surface de contact. La force doit être augmentée de manière régulière (voir Figure 4).

La forme minimale utilisée pour la mesure doit être de 350 N. Si la partie linéaire de la courbe de déformation n'est pas atteinte, la force doit être augmentée jusqu'à ce que la courbe présente une caractéristique linéaire.

La force peut être portée au point de déformation permanente de la bande de frottement.



Légende

- 1 supports libres au niveau des positions de montage de l'interface
- 2 fléchissement vertical (Δh) au centre de la bande de frottement (un fléchissement vers le haut correspond à une valeur positive)
- 3 force (F) appliquée perpendiculairement au centre de la bande de frottement

Figure 4 – Dispositif d'essai des caractéristiques de flexion

7.3.2.2 Critères d'acceptation de l'essai

Les résultats d'essai doivent montrer que la bande de frottement continue de respecter la limite d'élasticité lorsqu'une force minimale de 350 N est appliquée.

La bande de frottement est considérée comme n'étant pas endommagée si l'examen visuel ne révèle aucune fissure après un essai par application d'une force de 350 N minimum.

7.4 Essai de résistance au cisaillement de la bande de frottement

7.4.1 Généralités

7.4.1.1 Vue d'ensemble

Cet essai a pour objet de démontrer que l'interface entre le matériau soumis à l'usure et l'étrier intégré remplit les critères minimaux de résistance au cisaillement:

- a) à la température ambiante (voir 6.5);
- b) à la température T_{cs} ;
- c) aux températures spécifiées (voir 7.4.3);
- d) après avoir subi une fatigue thermique (voir 7.11).

Cet essai doit démontrer que l'adhésion entre le matériau soumis à l'usure et la structure de support respecte un critère minimal de résistance au cisaillement à la température ambiante, à la température T_{cs} définie en 7.1, aux températures spécifiées par le fabricant et en cas de fatigue thermique. La résistance au cisaillement est définie comme suit: $T_s = F_s / A$ (N/mm²). Pour le calcul de la surface d'adhésion (élément A de la Figure 7), le fabricant doit indiquer la méthode de calcul à utiliser.

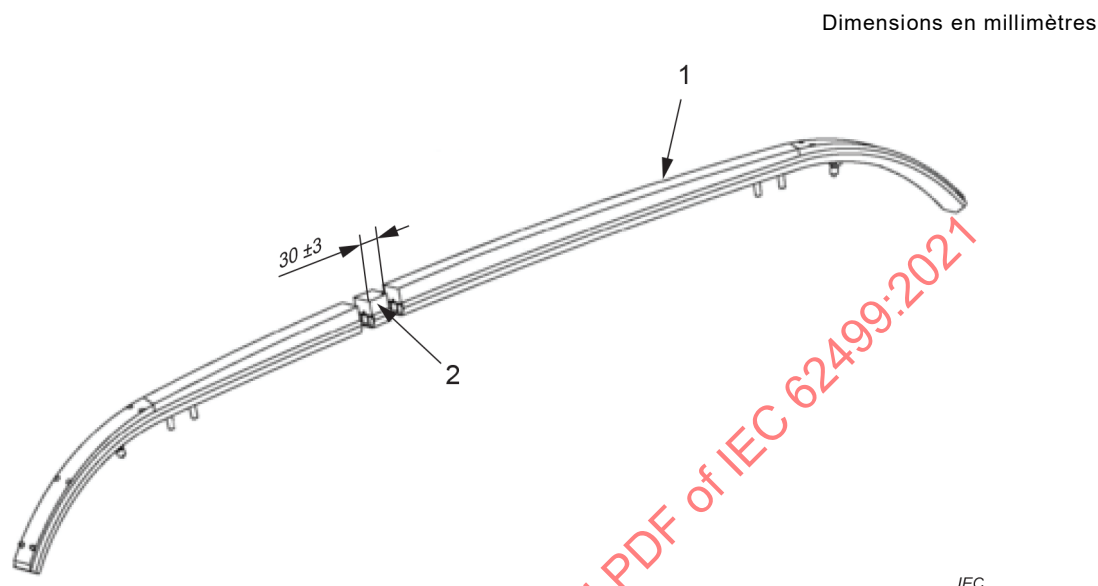
7.4.1.2 Critères d'acceptation de l'essai

La résistance de cisaillement au point de rupture de l'échantillon à la température ambiante (voir 6.5) doit être supérieure à la force de cisaillement minimale définie en 7.4.1 ou occasionner la rupture du matériau carbone exclusivement.

7.4.2 Méthode d'essai – Essai à la température ambiante

7.4.2.1 Généralités

Les échantillons de bande de frottement destinés à l'essai de résistance au cisaillement doivent être préparés conformément à la Figure 5.



Légende

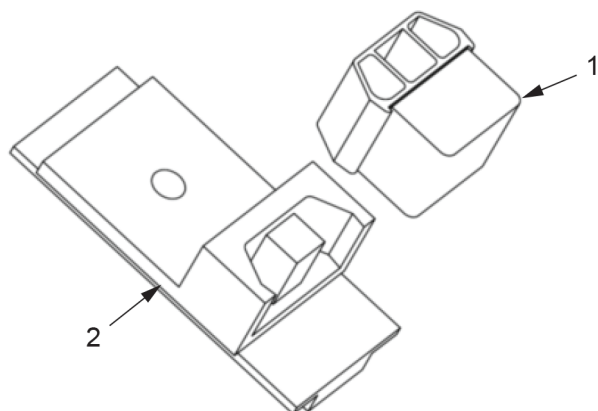
- 1 bande de frottement
- 2 échantillon pour l'essai de résistance au cisaillement coupé sur une longueur de 30 mm ± 3 mm

Figure 5 – Préparation de l'échantillon pour l'essai de résistance au cisaillement

Un minimum de 3 échantillons doit être préparé à partir d'une bande de frottement de production et doit comprendre chaque extrémité de la bande de frottement (hors points de montage) et son centre. Chaque échantillon doit avoir une longueur de 30 mm ± 3 mm. Chaque échantillon doit être fixé de manière appropriée (voir Figure 6) de façon à ce que la force de cisaillement F_s soit appliquée directement sur l'interface définie comme la surface d'adhésion "A" entre l'étrier et le matériau soumis à l'usure (voir Figure 7 et Figure 8) afin d'éviter tout moment de flexion indésirable sur l'interface; des éléments supplémentaires doivent être utilisés si nécessaire. La force au point de rupture de l'échantillon doit être consignée. La résistance au cisaillement doit être déterminée par le calcul de T_s .

7.4.2.2 Critères d'acceptation de l'essai

La pression de cisaillement minimale calculée doit être de 5 N/mm². La résistance de cisaillement au point de rupture de l'échantillon à la température ambiante (voir 6.5) doit être supérieure à la force de cisaillement minimale définie en 7.4.1 ou occasionner la rupture du matériau carbone exclusivement.



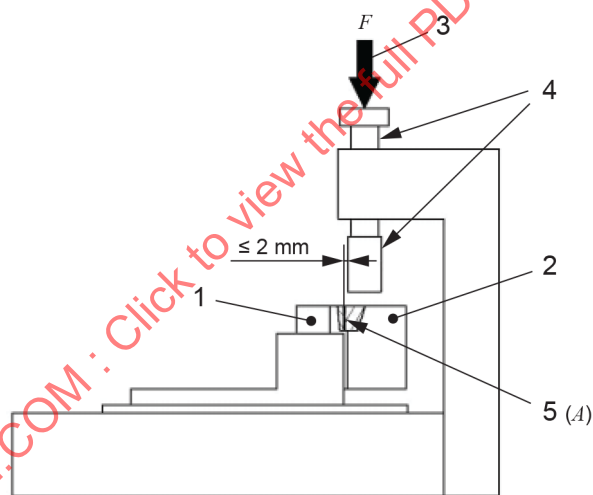
IEC

Légende

- 1 échantillon pour l'essai de résistance au cisaillement
- 2 fixation au moyen d'une goupille de positionnement (ou des goupilles exigées)

Figure 6 – Exemple de fixation pour l'essai de résistance au cisaillement

Le bord de l'outil d'application de la force doit être situé à moins de 2 mm de la liaison entre l'étrier et le matériau carbone.

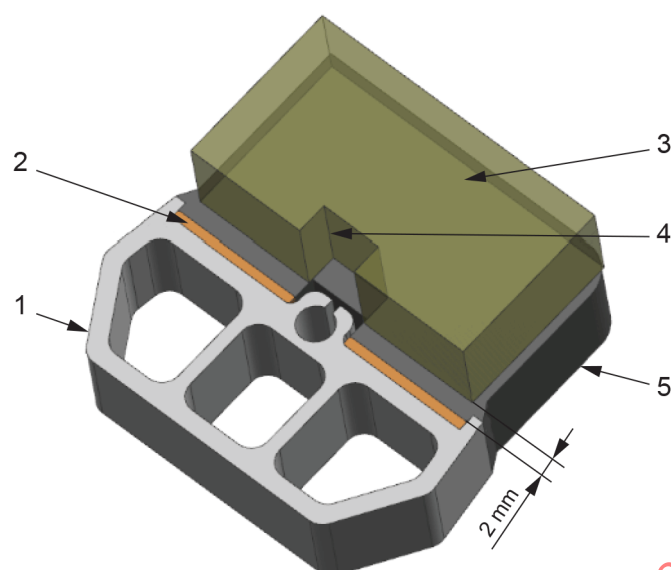


IEC

Légende

- 1 étrier (échantillon)
- 2 matériau soumis à l'usure (échantillon)
- 3 force (F) appliquée
- 4 outil d'application de la force
- 5 surface (A) d'adhésion

Figure 7 – Exemple de dispositif pour l'essai de résistance au cisaillement



Légende

- 1 étrier
- 2 couche de liaison
- 3 outil d'application de la force
- 4 encoche pour le dispositif d'abaissement automatique
- 5 matériau soumis à l'usure

Figure 8 – Exemple d'outil d'application de la force

7.4.3 Méthode d'essai – Essai à la température spécifiée

7.4.3.1 Généralités

Les échantillons d'essai doivent être préparés conformément au 7.4.2. Les échantillons doivent être refroidis/chauffés à -40 °C , à 100 °C et à T_{cs} . La résistance au cisaillement doit être consignée pour chaque température. La température doit être mesurée au niveau du matériau soumis à l'usure immédiatement adjacent à l'interface avec l'étrier intégré. On doit vérifier que la température du point de contrôle est représentative de la température à l'interface et qu'elle est maintenue pendant l'essai. La force au point de rupture de chaque échantillon doit être consignée. Les caractéristiques de T_s en fonction de la température doivent être fournies. Pour les bandes de frottement collées, d'autres essais doivent être effectués afin de déterminer la température limite T_{max} à laquelle la résistance au cisaillement se maintient à $2,5\text{ N/mm}^2$. L'essai doit être réalisé en appliquant d'une force constante équivalant à $2,5\text{ N/mm}^2$, puis en augmentant la température de l'échantillon de moins de 5 °C par minute jusqu'à la rupture de l'échantillon. Si le montage inclut un serrage mécanique supplémentaire de la bande de frottement sur l'étrier, cet essai doit être réalisé sans ce serrage.

7.4.3.2 Critères d'acceptation de l'essai

Les critères d'acceptation de l'essai à chaque température doivent être les suivants:

- | | | |
|---------------------|---------------------|---------------------------|
| – -40 °C : | 5 N/mm^2 | minimum |
| – 100 °C : | 5 N/mm^2 | minimum |
| – T_{cs} | $2,5\text{ N/mm}^2$ | minimum |
| – T_{max} | $2,5\text{ N/mm}^2$ | pour déterminer T_{max} |

Les critères d'acceptation indiqués pour cet essai concernent exclusivement les bandes de frottement collées. Pour les autres types de bandes, les critères d'acceptation doivent être définis en accord avec le client.

Le client peut spécifier des essais supplémentaires pour les bandes de frottement collées ou fixées par serrage.

7.5 Essai sur le détecteur d'abaissement automatique intégré aux bandes de frottement

7.5.1 Généralités

Les essais suivants démontrent l'étanchéité des bandes de frottement, ainsi que la continuité du débit d'air et le bon fonctionnement du détecteur d'abaissement automatique. Les résultats de ces essais doivent être mis à la disponibilité du client. Ces essais ne sont applicables qu'aux bandes de frottement qui sont équipées d'un dispositif pneumatique à la base du carbone, qui est utilisé comme dispositif de détection.

7.5.2 Méthode d'essai – Étanchéité

7.5.2.1 Généralités

Le détecteur d'abaissement automatique de la bande de frottement doit être mis sous pression pendant au moins 10 s à la pression maximale de fonctionnement du dispositif d'abaissement automatique du pantographe. La pression maximale de fonctionnement doit être de 1 MPa (10 bar) ou doit correspondre à la valeur spécifiée par le client (voir Annexe A). Le débit de fuite d'air doit être mesuré, et l'essai doit être effectué à la température ambiante. Des méthodes de mesure alternatives sont acceptables si on peut démontrer qu'elles conduisent au même taux de fuite à la pression de fonctionnement maximale.

Il s'agit d'un essai individuel de série qui est réalisé sur l'ensemble des bandes de frottement, destinées à être utilisées avec le dispositif d'abaissement automatique du pantographe.

Cet essai de type doit être effectué comme indiqué dans le Tableau 2.

L'essai de type doit être répété avec une bande de frottement usée jusqu'à la limite d'usure définie par le fabricant.

NOTE La pression de fonctionnement est définie dans la fiche technique ou sur le schéma.

7.5.2.2 Critères d'acceptation de l'essai

Le débit de fuite ne doit pas dépasser 0,1 l standard/min. Cet essai peut être réalisé en mesurant la différence de pression équivalente dans le temps.

Ainsi, à une pression de 1 MPa (10 bar), la différence de pression équivalente dans le temps est de 20 kPa (0,2 bar) maximum par minute pour un réservoir de 0,5 l.

NOTE À une pression de 1 MPa (10 bar), avec un réservoir de 0,5 l, une chute de pression de 20 kPa (0,2 bar) en 1 min équivaut à 0,1 l/min dans les conditions normales de température et de pression (voir 3.1.2). Si d'autres valeurs de pression de fonctionnement sont spécifiées, la différence de pression équivalente peut être calculée.

7.5.3 Méthode d'essai – Résistance de l'étanchéité à la température

7.5.3.1 Méthode d'essai – Étanchéité à la température T_{cs}

7.5.3.1.1 Généralités

Si la bande de frottement comporte un détecteur d'abaissement automatique, elle doit être portée à une température T_{cs} et mise sous pression à 1 MPa (10 bar) ou à la pression maximale

de fonctionnement spécifiée par le client (voir Annexe A). Au cours de cet essai, l'étanchéité doit être contrôlée.

NOTE L'essai à haute température défini en 7.2.2 peut être combiné à cet essai.

7.5.3.1.2 Critères d'acceptation de l'essai

Le débit de fuite d'air ne doit pas dépasser 0,1 l standard/min. Cet essai peut être réalisé en mesurant la différence de pression équivalente dans le temps.

Ainsi, à une pression de 1 MPa (10 bar), la différence de pression équivalente dans le temps est de 20 kPa (0,2 bar) maximum par minute pour un réservoir de 0,5 l.

NOTE À une pression de 1 MPa (10 bar), avec un réservoir de 0,5 l, une chute de pression de 20 kPa (0,2 bar) en 1 min équivaut à 0,1 l/min dans les conditions normales de température et de pression (voir 3.1.2). Si d'autres valeurs de pression de fonctionnement sont spécifiées, la différence de pression équivalente peut être calculée.

7.5.3.2 Méthode d'essai – Étanchéité à faible température

7.5.3.2.1 Généralités

Si la bande de frottement comporte un détecteur d'abaissement automatique, elle doit être portée à la température de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Annexe A) et mise sous pression à 1 MPa (10 bar) ou à la pression maximale de fonctionnement spécifiée par le client (voir Annexe A). Au cours de cet essai, l'étanchéité doit être contrôlée.

NOTE L'essai à faible température défini en 7.2.3 peut être combiné à cet essai.

7.5.3.2.2 Critères d'acceptation de l'essai

Le débit de fuite ne doit pas dépasser 0,1 l standard/min. Cet essai peut être réalisé en mesurant la différence de pression équivalente dans le temps.

Ainsi, à une pression de 1 MPa (10 bar), la différence de pression équivalente dans le temps est de 20 kPa (0,2 bar) maximum par minute pour un réservoir de 0,5 l.

NOTE À une pression de 1 MPa (10 bar), avec un réservoir de 0,5 l, une chute de pression de 20 kPa (0,2 bar) en 1 min équivaut à 0,1 l/min dans les conditions normales de température et de pression (voir 3.1.2). Si d'autres valeurs de pression de fonctionnement sont spécifiées, la différence de pression équivalente peut être calculée.

7.5.4 Méthode d'essai – Continuité du débit d'air

7.5.4.1 Généralités

L'essai de type doit être effectué sur une bande de frottement qui a été soumise à l'essai d'étanchéité décrit au 7.5.2.

Un débitmètre doit être connecté entre l'alimentation d'air et la bande de frottement. L'alimentation doit être mise sous pression, puis maintenue à la pression spécifiée et à la pression minimale de fonctionnement du dispositif d'abaissement automatique du pantographe spécifiée par le client (voir Annexe A). Le bouchon d'obturation qui protège le détecteur d'abaissement automatique doit être retiré.

7.5.4.2 Critères d'acceptation de l'essai

Le débit d'air (en litres standard par minute) à la pression spécifiée doit être consigné; il doit être supérieur ou égal à la valeur minimale spécifiée par le client (voir Annexe A) pour le déclenchement du détecteur d'abaissement automatique.

NOTE Voir aussi les paragraphes 4.9, 6.2.5 et 6.2.6 ainsi que l'Annexe C de l'IEC 60494-1:2013.