

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Wearable electronic devices and technologies –
Part 401-1: Devices and systems: functional elements – Evaluation method of
the stretchable resistive strain sensor**

**Technologies et dispositifs électroniques prêt-à-porter –
Partie 401-1: Dispositifs et systèmes: éléments de fonctionnement – Méthode
d'évaluation de la jauge de contrainte extensible de type résistif**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2023 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 Secretariat
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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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 Products & Services Portal - products.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 22 300 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 19 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 Products & Services Portal - products.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 22 300 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 19 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Wearable electronic devices and technologies –
Part 401-1: Devices and systems: functional elements – Evaluation method of
the stretchable resistive strain sensor**

**Technologies et dispositifs électroniques prêt-à-porter –
Partie 401-1: Dispositifs et systèmes: éléments de fonctionnement – Méthode
d'évaluation de la jauge de contrainte extensible de type résistif**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 31.020

ISBN 978-2-8322-7558-0

**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.....	4
1 Scope.....	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	6
3.1 Terms and definitions.....	6
3.2 Symbols and abbreviated terms	7
4 Test environments	7
5 Test specimen	8
5.1 Shape of the test specimen of the stretchable strain sensor.....	8
5.2 Measurement of dimensions	8
6 Test method and test apparatus	9
6.1 General.....	9
6.2 Test apparatus and measurement.....	9
7 Test procedure	13
8 Measurement of sensor performance and endurance.....	13
8.1 Gauge factor	13
8.1.1 General	13
8.1.2 Purpose.....	13
8.1.3 Test procedure	14
8.2 Linearity.....	14
8.2.1 Purpose.....	14
8.2.2 Test procedure	14
8.3 Response characteristics	14
8.3.1 General	14
8.3.2 Purpose.....	15
8.3.3 Test procedure.....	15
8.4 Hysteresis.....	15
8.4.1 General	15
8.4.2 Purpose.....	15
8.4.3 Test procedure	15
9 Test report.....	16
Annex A (informative) Strain sensor resistance measurement.....	17
Annex B (informative) Effects of strain rate on performances of the stretchable strain sensor.....	18
Annex C (informative) Measurement of response time of the stretchable strain sensor	19
Annex D (normative) Examples of hysteresis calculations.....	20
Bibliography.....	22
Figure 1 – Shape of a test specimen of the stretchable strain sensor	8
Figure 2 – Example of stretching test machine	9
Figure 3 – Schematic drawing of a stretching test machine and two-wire measurement method	10
Figure 4 – Schematic drawing of a stretching test machine and four-wire measurement method	12
Figure 5 – Linearity measurement of the stretchable strain sensor	14

Figure A.1 – Changes in electrical resistances when the strain sensor is stretched.....	17
Figure B.1 – Examples of the effects of strain rate on performances of the stretchable strain sensor	18
Figure C.1 – Examples of the response time of the stretchable strain sensors	19
Figure D.1 – Example of the hysteresis behaviour of a stretchable strain sensor	20
Figure D.2 – Example calculation of hysteresis behaviour	20
Figure D.3 – Calculation of hysteresis behaviour of the stretchable strain sensor	21
Figure D.4 – Example of calculation of the degree of hysteresis	21

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63203-401-1:2023

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

WEARABLE ELECTRONIC DEVICES AND TECHNOLOGIES –

Part 401-1: Devices and systems: functional elements – Evaluation method of the stretchable resistive strain sensor

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 63203-401-1 has been prepared by IEC technical committee 124: Wearable electronic devices and technologies. It is an International Standard.

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

Draft	Report on voting
124/223/FDIS	124/239/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/publications.

A list of all parts in the IEC 63203 series, published under the general title *Wearable electronic devices and technologies*, can be found on the IEC website.

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

- reconfirmed,
- withdrawn, or
- revised.

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63203-401-1:2023

WEARABLE ELECTRONIC DEVICES AND TECHNOLOGIES –

Part 401-1: Devices and systems: functional elements – Evaluation method of the stretchable resistive strain sensor

1 Scope

This part of IEC 63203-401 specifies a measurement method of tensile strain for stretchable, resistive strain sensors. This document describes characterization procedures for evaluation of the gauge factor, linearity, response characteristics, and hysteresis of unimodal tension sensors but is not appropriate for assessment of the physical properties of the sensor material such as the elastic modulus, elastic limit, and Poisson's ratio.

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 62899-202-4:2021, *Printed electronics – Part 202-4: Materials – Conductive ink – Measurement methods for properties of stretchable printed layers (conductive and insulating)*

ISO 291:2008, *Plastics – Standard atmospheres for conditioning and testing*

ISO/TS 12901-2:2014, *Nanotechnologies – Occupational risk management applied to engineered nanomaterials – Part 2: Use of the control banding approach*

3 Terms and definitions

3.1 Terms and definitions

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

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

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

3.1.1

stretchable substrate **stretchable material**

substrate or material able to recover original size and shape immediately after the removal of the extending force causing deformation

Note 1 to entry: In this document, the notion of "stretchability" is based on the elasticity of the substrate.

[SOURCE: IEC 63203-101-1:2021, 3.10 [1]]

3.1.2**gauge factor** G_F

ratio of the change in electrical resistance divided by the original resistance (R_0 , resistance in the undeformed configuration) to engineering strain (e) along the axis of the stretching

Note 1 to entry: Gauge factor is expressed as $G_F = \frac{(R - R_0)/R_0}{e}$, where R_0 is the initial resistance in the undeformed configuration, R is the electrical resistance in the deformed configuration, and e is the tensile strain.

[SOURCE: IEC 62047-22:2014, 3.1.1 [2] modified – "along the axis of the stretching" has been added to the definition, and, in the note to entry, "where R is the electrical resistance in the deformed configuration" has been replaced with "where R_0 is the initial resistance in the undeformed configuration, R is the electrical resistance in the deformed configuration, and e is the tensile strain".]

3.1.3**gauge length**

length of the strain-sensitive section of a stretchable strain sensor in the direction of the measurement axis

3.2 Symbols and abbreviated terms

Symbol	Unit	Description
a	mm	Width of the resistive thin film
h	μm	Thickness of the resistive thin film
l_0	mm	Gauge length of the sensor
l_1	mm	Length of the stretchable resistive thin film

4 Test environments

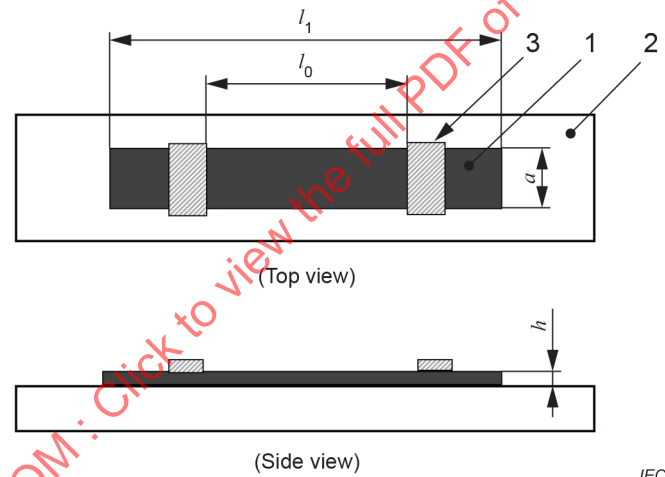
The tests shall be performed under constant temperature and humidity conditions. As environmental conditions, including temperature and humidity, can affect the electrical and mechanical properties of resistive materials and substrates, the testing temperature and humidity shall be monitored during testing. Fluctuations in temperature during a test shall be kept to less than $\pm 2^\circ\text{C}$. Thus, when testing such materials, the change in relative humidity (RH) in the testing laboratory shall be kept to less than $\pm 10\%$ RH. The recommended temperature and relative humidity are $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ and relative humidity of $50 \pm 10\%$, respectively, conforming to standard atmosphere class 2 specified in ISO 291. Whenever testing is conducted, the environmental conditions shall be recorded.

5 Test specimen

5.1 Shape of the test specimen of the stretchable strain sensor

The shape of the stretchable strain sensor to be tested shall be rectangular or square. The test specimen has a stretchable substrate, and the resistive thin film is deposited on this stretchable substrate or on a single layer of resistive composite materials. Figure 1 presents the basic shape of the test specimen including pads or metal layer for electrical connection. For the pad, the thin metal film or coating is deposited or fabricated on the resistive sensor layer. The film materials with low stiffness are fabricated as thin as possible (for example, less than a few micrometers in thickness) so that the stretching of the resistive sensor material is not restricted due to the pad material. Some resistive composite sensor materials can be sensitive to the deposition process. Thus, there will be a possibility that the resistive sensor materials can be damaged during the deposition process. In this case, metal clips can be used for electrical connection instead of metal pads. The length of the stretchable resistive thin film l_1 can be the same as the length of the stretchable substrate. The width of stretchable substrate is more than or equal to the width of the resistive thin film.

For uniform strain distribution, a rectangular strip shape is recommended. Since the change in electrical resistance is related to the strain, the electrical resistance is measured in a region of nearly uniform strain within the gauge length. The gauge length is chosen as the region where the strain of the stretchable sensor layer is uniform over the cross-sectional area.



Key

- | | |
|--------------------------------------|-------------------------|
| 1 Stretchable strain sensor material | 2 Stretchable substrate |
| 3 Pad for electrical connection | |

Figure 1 – Shape of a test specimen of the stretchable strain sensor

5.2 Measurement of dimensions

The length of the stretchable strain sensor, in particular the gauge length of the sensor shall be measured accurately, because the dimension of the length can be used to determine the mechanical and electrical properties of the strain sensor. Each test specimen should be measured directly. The test specimens' dimensions shall be specified within the maximum error of $\pm 5\%$.

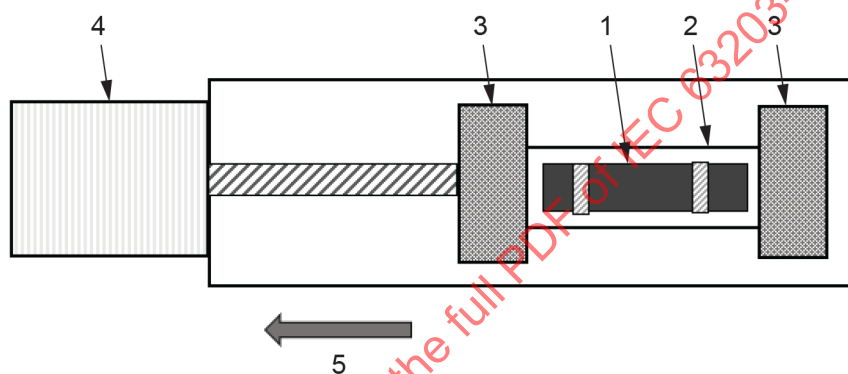
6 Test method and test apparatus

6.1 General

The test is performed by applying a tensile load to a test specimen. The tensile strain induced by the tensile load shall be uniform in a pre-defined gauge section in the elastic region of the substrate or the thin resistive material. To measure the change in electrical resistance along with the change in mechanical strain, the section of gauge shall be selected carefully. The gauge section used to measure the mechanical strain shall be coincident with or scalable to the section used to measure the electrical resistance.

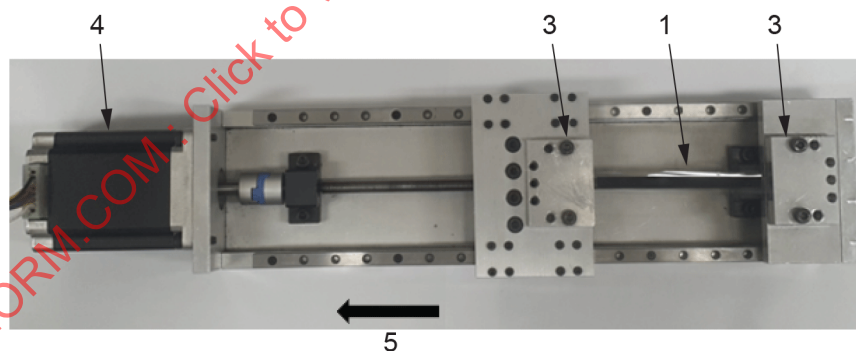
6.2 Test apparatus and measurement

The stretching test machine includes the grips to hold a test sample, the actuating motor which regulates moving distance and moving speed while testing. Stretching shall be applied along the tensile axis of the test sample to avoid the bending or twisting of the test piece. An example of a stretching test machine is shown in Figure 2.



IEC

(a) Schematic drawing of stretching test machine (top view)



IEC

(b) Photograph of example of a stretching test machine (top view)

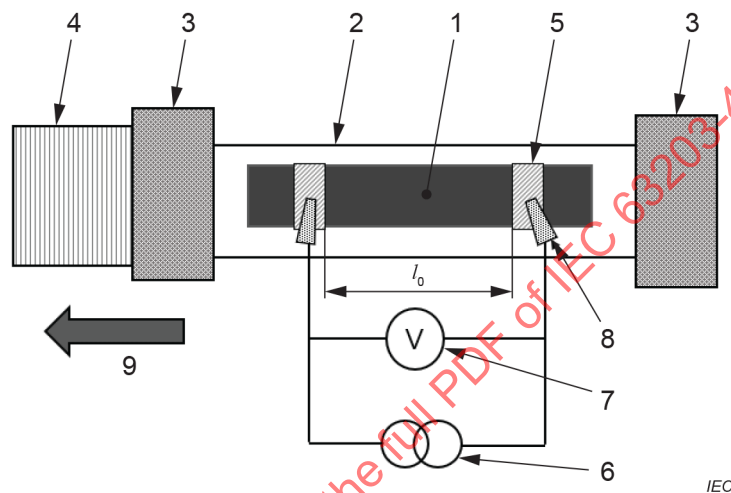
Key

- | | |
|-----------------------------|-------------------------|
| 1 Stretchable strain sensor | 2 Stretchable substrate |
| 3 Grip | 4 Actuating motor |
| 5 Actuating direction | |

Figure 2 – Example of stretching test machine

A vertical stretching test machine can be used if the deformation of the stretchable sensor due to its own weight can be ignored. The electrical measurement circuit can use two-wire or four-wire methods depending on the magnitude of the electrical resistance of the sensor. For a sensor that has an electrical resistance greater than 1 k Ω , a two-wire method can be used for ease of measurement. For a sensor that has an electrical resistance 1 k Ω or less, the four-wire method shall be used to eliminate contact- and lead-wire resistance.

Figure 3 shows the schematic drawing of the two-wire method and test machine setup. The test machine consists of grips, load cell (or strain measurement sensor), motor or actuator. Prepare a stretchable specimen with a gauge length longer than the distance between the grips. The resistance measurement setup consists of a constant-current source, a voltmeter, metal clips or electrodes. The clips that are made of rust-resistant metal or that have a surface treatment (such as gold plating) to prevent rust shall be used.



Key

- | | |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| 1 Stretchable sensor material | 2 Stretchable substrate |
| 3 Grip | 4 Motor or actuator |
| 5 Pad | 6 Constant current source |
| 7 Voltmeter | 8 Metal electrode (or metal clip) |
| 9 Actuating direction | |

Figure 3 – Schematic drawing of a stretching test machine and two-wire measurement method

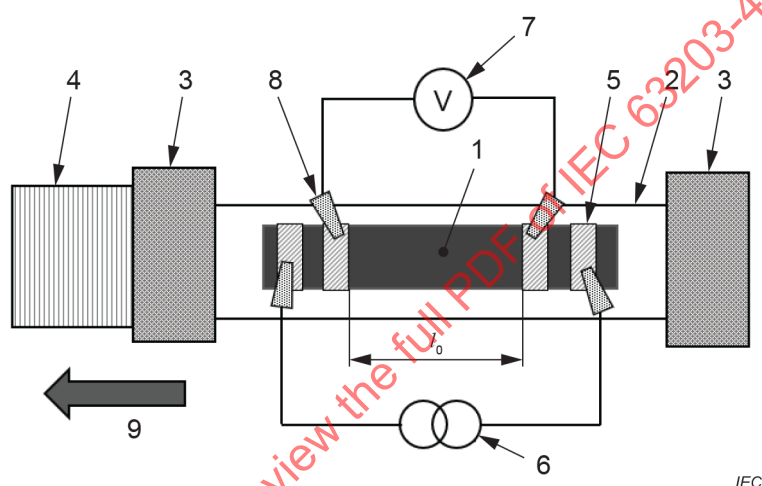
Figure 4 shows the schematic drawing of the four-wire method and test machine setup. The resistance measurement setup consists of a constant-current source, a voltmeter, metal electrodes or metal clips (voltage electrode), and metal electrodes (current electrode). Therefore, the constant-current source pad and voltmeter pad for electrical connection are required at each side of the sample. The fabrication of pads is explained in 5.1. Figure 4 a) illustrates the initial test setup, and Figure 4 b) illustrates the test setup during stretching. The examples of sensor resistance or changes in resistance during stretching test are illustrated in Annex A.

The quality-certified rulers or mechanical extensometer are used to measure the stretched gauge length (l_s). Several optical methods using laser, interference light, camera, and image systems such as digital image correlation (DIC) systems can be utilized to measure the stretched gauge length. Several methods are available to measure resistance changes of the sensor with sufficient resolution and accuracy.

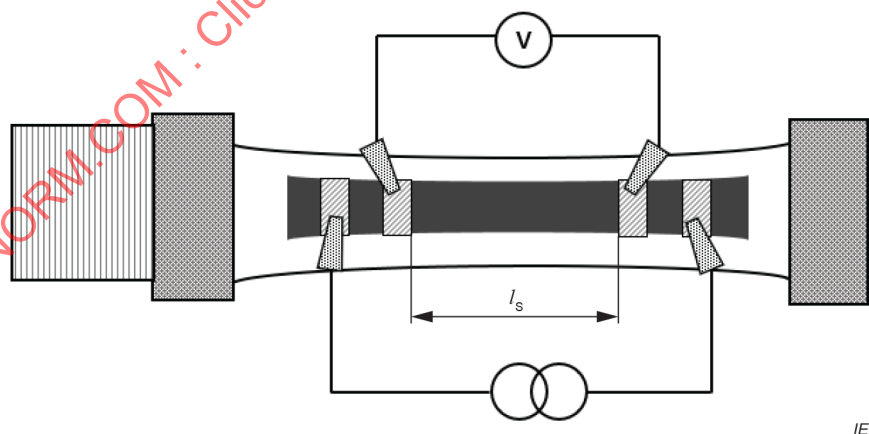
During stretching, there will be slippage or friction between the pad and metal electrode or metal clip which will cause the distortion of the electrical resistance value of the sensor. In this case, more stable electrical connection such as soldering of electrical wire to the pad shall be used. In particular, the continuous cyclic stretching test shall require stable electrical connection. Figure 4 c) illustrates an example of the test setup during stretching.

Figure 4 d) illustrates another example of test setup. This test setup and test method are described in detail and shall be as described in IEC 62899-202-4:2021. When this test method is used, it is noted that the stress is not relatively uniform across the sample in lateral direction.

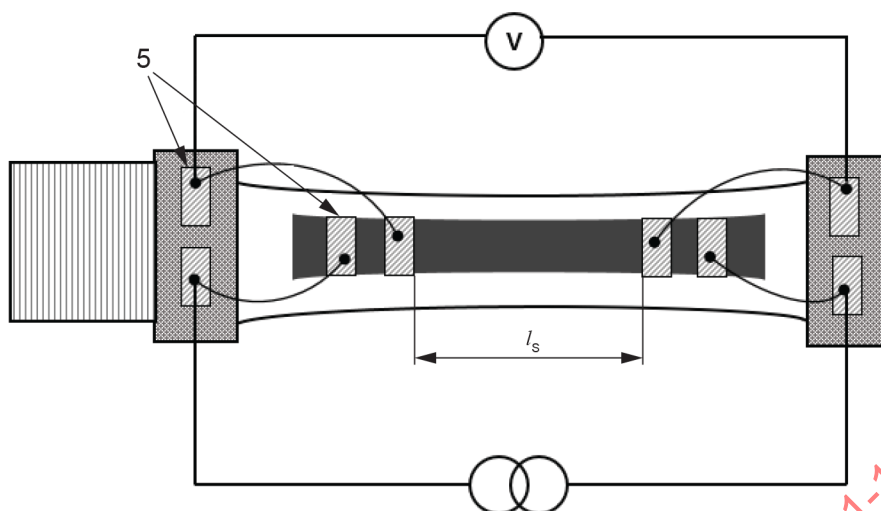
The test machine shall use the gripping system which holds the test sample evenly and firmly to avoid the slippage of the sample during the stretching test. The gripping system shall not cause premature damage, failure and scratch in the sample. For highly stretchable samples, including elastomers, over-tightening of the gripping is also to be avoided to prevent concentrating the local stress, scratching, or damaging the substrate in the area that is clamped. The sample shall not twist or bend during stretching.



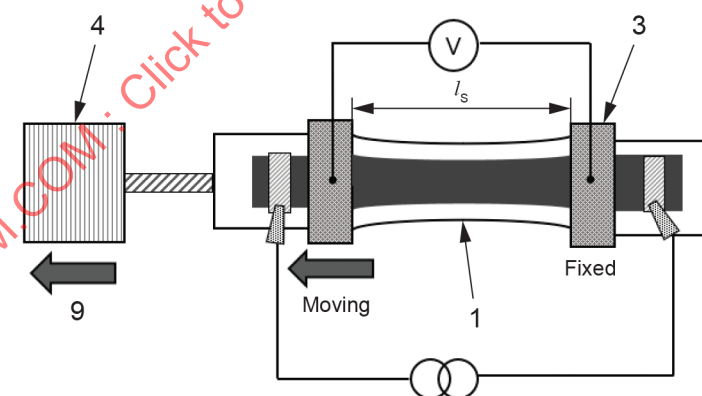
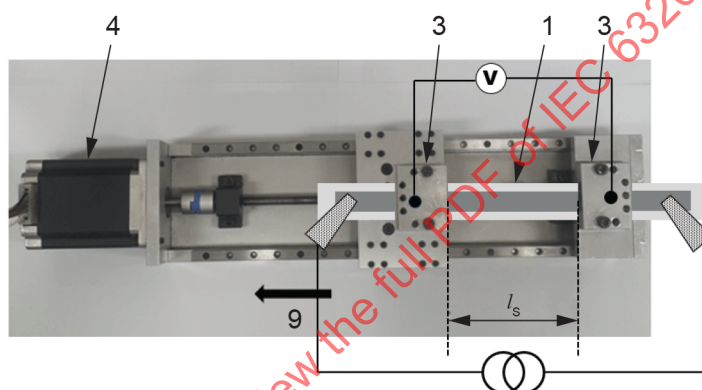
a) Initial test setup using four-wire method



b) Test setup during stretching using four-wire method



c) Example of test setup during stretching using four-wire method and stable electrical connection



d) Other example of test setup during stretching using four-wire method and stable electrical connection

Key

- | | |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| 1 Stretchable sensor material | 2 Stretchable substrate |
| 3 Grip | 4 Motor or actuator |
| 5 Pad | 6 Constant current source |
| 7 Voltmeter | 8 Metal electrode (or metal clip) |
| 9 Actuating direction | l_s Stretched gauge length |

Figure 4 – Schematic drawing of a stretching test machine and four-wire measurement method

7 Test procedure

The test procedure is as follows.

- 1) Mount the sensor to be tested on the test apparatus. Centre the sensor symmetrically on the constant-stress area and align it with the longitudinal centre line of the actuating direction of the test apparatus.
- 2) Measure the initial electrical resistance of the sensor.
- 3) The sensor is stretched with the increasing tensile strain to a designated tensile strain. Then, the sensor's electrical resistance is measured simultaneously with no time delay. Record the strain and electrical resistance.
- 4) The test is performed under a constant strain speed that depends on the material of the sensor and the sensor's actual application. The strain rate will range from $0,01 \text{ min}^{-1}$ to 1 min^{-1} to avoid the possible external effects on the sensor performances caused by stretching speed or strain-rate, depending on the sensor material and the actual usage condition of the strain sensor. The examples of the relative resistance change of the strain sensors at different strain rates are illustrated in Annex B in which the strain rate affects the sensor performances. When the speed is not specified, use the lowest speed.
- 5) This operation is repeated, increasing the tensile strain until the resistance value reaches a level that is unacceptable in the actual usage condition of the strain sensor. The test will be stopped at this point.
- 6) Unload the sensor when electrical failure occurs in the sensor or when fracture or damage occurs in the resistive thin film or the substrate. The test will also be terminated when electrical failure occurs in the sensor or when fracture or damage occurs in the resistive thin film or the substrate.

8 Measurement of sensor performance and endurance

8.1 Gauge factor

8.1.1 General

The gauge factor is the ratio of relative change in electrical resistance to the mechanical strain. It is determined from the average of the slope of the straight line between the measurement points in the graph of relative change in electrical resistance to nominal tensile strain. The measurement of the gauge factor of the stretchable strain sensor can be similar to that of the conventional metal-foil strain gauge except for the amount of strain applied. The gauge factor may vary with the strain due to the nonlinear characteristics of the resistive material and the elastomer. In addition, it should be noted that the change in resistance with strain is not due solely to the dimensional changes in the resistive sensor but that the resistivity of the resistive material also changes with the strain. In this case, the characteristics of the gauge factor with the strain shall be reported.

NOTE Details on measuring the thermal characteristics of the strain sensor can be found in ASTM E251-92 [3]¹.

8.1.2 Purpose

The purpose of this method is to measure the gauge factor of the stretchable strain sensor.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

8.1.3 Test procedure

The test procedure to measure the gauge factor of the strain sensor is basically the same as the test procedure described in 6.1 and 7 except that the strain sensor is stretched up to a designated operating strain range of the stretchable strain sensor. The gauge factor can be calculated as the ratio of the change in electrical resistance of the strain sensor to the change in length (strain) along the axis of the stretching.

8.2 Linearity

8.2.1 Purpose

Linearity of the stretchable strain sensor refers to the relationship between the relative change of the electrical signal, such as electrical resistance, and applied strain as shown in Figure 5. The closeness of the calibration curve to a specified straight line shows the linearity of a sensor. Its degree of resemblance to a straight line describes how linear a sensor's output is. A stretchable sensor with good linearity can reliably produce sensor signals even without rigorous calibration over a wide range of tensile strain.

8.2.2 Test procedure

Measure the electrical resistance outputs when the stretchable strain sensor is stretched within measuring stretchability range including end-point. Five measurements at least should be taken throughout the possible range of measurement. These points are then recorded on a graph as shown in Figure 5. An attempt is made to fit a straight line through these points. The point which deviates most from the simple straight line will be used to specify the "linearity" of the stretchable strain sensor. The degree to which the points lie away from the straight line of best fit is called the linearity error of the strain sensor.

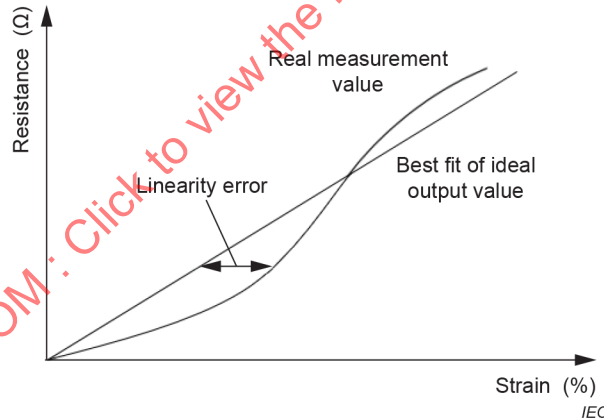


Figure 5 – Linearity measurement of the stretchable strain sensor

8.3 Response characteristics

8.3.1 General

The response time is how fast the sensor responds to external strain. Response characteristics determine how quickly the stretchable strain sensor moves toward a steady-state response. The response characteristics of the stretchable strain sensor are important when the strain sensor is used to monitor human motion or activity. Since a response delay exists in all elastomer-based stretchable strain sensors due to the viscoelastic nature of elastomers, measuring the stretchable sensor's response time is recommended. The response time required for a stretchable sensor is dependent on the sensor's application.

8.3.2 Purpose

The purpose of this method is to measure the response characteristics of the stretchable strain sensor.

8.3.3 Test procedure

- a) The response time of the stretchable sensor is calculated as the time span between stretching and the point in time when the sensor output signal rises to the 90 % of maximum response to the applied strain. Therefore, the exact definition of the response time used should be defined and reported. Examples of the measurement of the response time for various stretchable strain sensors are illustrated in Annex C.
- b) As the stretchable strain sensor is stretched, the corresponding transient electrical signals, such as electrical resistances of the strain sensor over time, are continuously recorded.
- c) To measure the response time of the strain sensor, the resistance measurement methods with the data acquisition systems and computer are used. Various data acquisition systems and instruments such as high-speed digital oscilloscope and digital multimeter also can be used.
- d) While the sensor is at rest, the strain is increased to the lowest possible strain level with a maximum speed and then released back to the initial state. The time required for the stretch/release process is different because the stretch/release process is a quasi-transient process that requires more time for large elongations, which means that with increasing elongations, the residual time also increases. It is appropriate to set the minimum satisfactory elongation with maximum speed (for example, 1 mm deformation length and 100 mm/min strain rate). It is recommended to determine the stretching elongation or strain within a range in which the non-linearity and hysteresis characteristics of the sensor are minimized. The stretching strain and speed can be dependent on the sensor's application.

8.4 Hysteresis

8.4.1 General

Hysteresis and recovery become important when stretchable strain sensors are used to sense dynamic load application, including in skin-mountable and wearable applications. Hysteresis represents the history dependence of the stretchable sensor under mechanical deformation. Large hysteresis behaviour in the sensors leads to the sensing performance of the sensors being irreversible upon dynamic loadings. Typically, nanocomposite-based strain sensors that use metallic particles, Ag nanowire, carbon-based materials, and elastomer composite are known to exhibit longer recovery times due to the friction force between the fillers and the elastomer matrices. Therefore, the measurement of the hysteresis and the recovery characteristics of the stretchable sensors is recommended. When handling nano-materials such as nanoparticles, nanopowders, nanofibers, nanotubes, and nanowires, the risks associated with occupational exposure to nano-material or prevention of any possible adverse effects on workers' health shall be controlled in accordance with ISO/TS 12901-2:2014.

8.4.2 Purpose

The purpose of this method is to measure the hysteresis of the stretchable strain sensor.

8.4.3 Test procedure

- a) To characterize the hysteresis behaviour of the stretchable strain sensor, the strain sensor is subjected to a stretching-releasing cycle with a targeted maximum strain.
- b) Place the stretchable strain sensor in the tensile-testing machine.
- c) Stretch the strain sensor to a designated strain and record the electrical resistance value and applied strain. The stretching speed or strain rate is described in Clause 7.
- d) Repeat the increment of strain with continuous measurement of the electrical resistance up to a targeted maximum strain.

- e) After the strain sensor is stretched to a maximum strain, release the strain sensor to a designated strain. Repeat the reduction of the strain down to 0 % strain, that is, initial state.
- f) There can be several methods to calculate the hysteresis value. Therefore, the designated strain and the exact definition of the hysteresis value used should be defined and described in the test reports. Examples of hysteresis calculation and hysteresis behaviour of various stretchable strain sensors are illustrated in Annex D.

9 Test report

The test report shall contain the following information.

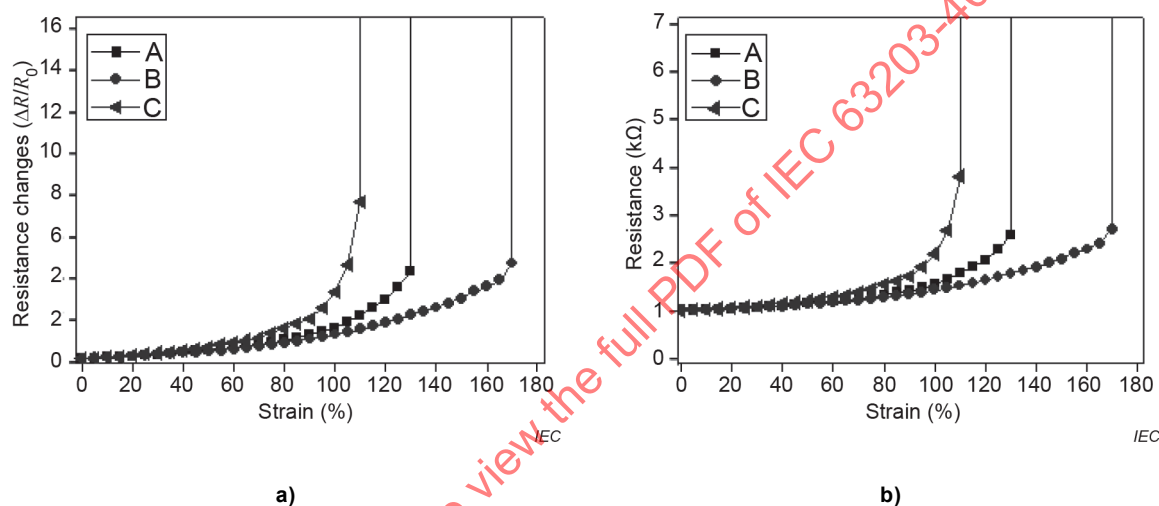
- 1) Sensor material and substrate material
- 2) Sensor dimensions and the method used to measure them
- 3) Number of sensors tested
- 4) Description of the testing apparatus
- 5) Strain rate applied
- 6) Sensor performance, including
 - Stretchability or maximum allowable amount of strain
 - Gauge factor and linearity
 - Response and hysteresis characteristics
 - Definition and measurement methods of the response time and hysteresis value

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63203-401-1:2023

Annex A (informative)

Strain sensor resistance measurement

Figure A.1 shows examples of stretchability test results of a stretchable resistive strain sensor using a tensile test machine. The stretchable strain sensor was made of Ag flakes and a polymer binder and printed on the polyurethane stretchable substrate. The stretching test was performed using a tensile test at a low speed of 0,1 mm/s. The change in the electrical resistance of the strain sensor was measured during the test using the two-wire method. Three kinds of the resistive strain sensor were evaluated and compared. In Figure A.1 b), the change in the resistance of the strain sensor was expressed as $\Delta R (= R - R_0)/R_0$, where R_0 and R are the resistances of the strain sensor before and after testing, respectively. The electrical resistance of the sensors gradually increases as tensile strain increases, and then at a certain point, the resistance increases sharply for some sensors.



**Figure A.1 – Changes in electrical resistances
when the strain sensor is stretched**

Annex B (informative)

Effects of strain rate on performances of the stretchable strain sensor

Figure B.1 shows two examples of the resistance change of the stretchable strain sensor for different strain rates. Figure B.1 a) shows the relative resistance change of the stretchable strain sensor for different strain rates with a strain of 50 %. The applied rate was in the range of 5 mm/min to 25 mm/min [4]. The relative resistance $\Delta R (= R - R_0)/R_0$ was measured where R_0 and R are the resistances of the strain sensor before and after testing, respectively. As the strain rate increases from 5 mm/min to 20 mm/min, the resistance of the strain sensor reduces. Figure B.1 b) also shows the effect of the strain rate on performances of the stretchable strain sensor [5]. For different strain rates, the stretchable strain sensor shows the different resistance behaviour during stretching.

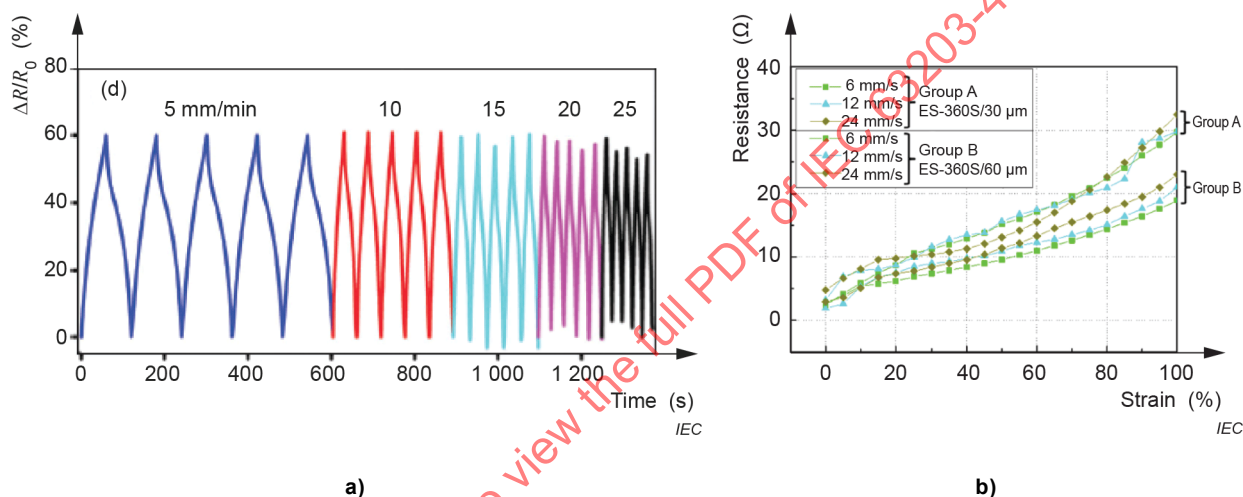
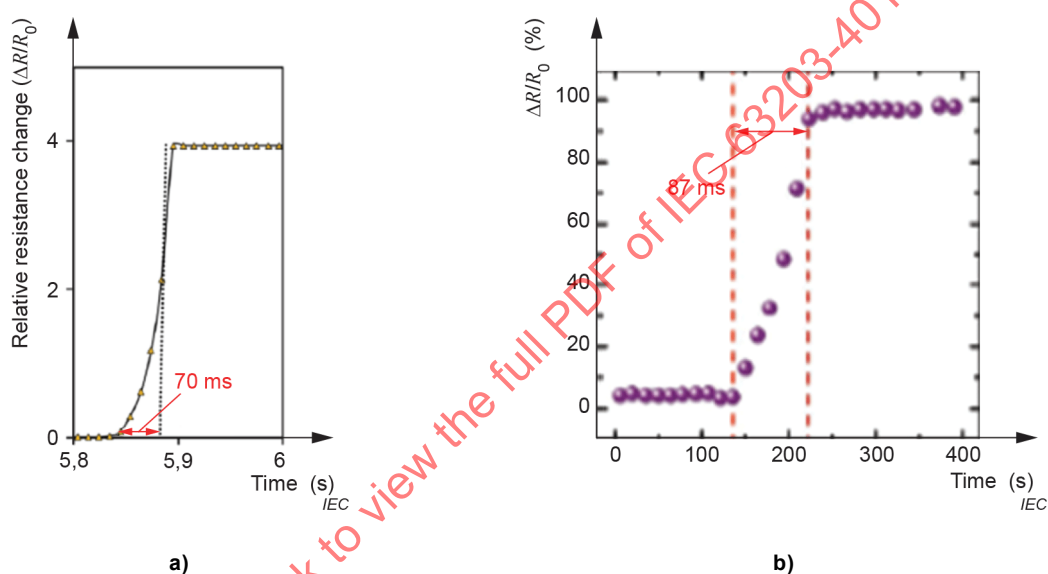


Figure B.1 – Examples of the effects of strain rate on performances of the stretchable strain sensor

Annex C (informative)

Measurement of response time of the stretchable strain sensor

Figure C.1 shows two examples of the response time of the stretchable resistive strain sensor tested using a tensile test machine. The stretchable strain sensor in Figure C.1 a) was made of Ag ink and polymer binder [6]. The relative resistance $\Delta R (= R - R_0)/R_0$ was measured with time where R_0 and R are the resistances of the strain sensor before and after testing, respectively. The response time of this strain sensor is 70 ms. Figure C.1 b) shows another example of the response time of the stretchable strain sensor made of the carbon nanotube and polydimethylsiloxane (PDMS) binder [7]. The response time of this strain sensor is 87 ms. Obviously, the sensor with the faster response time is better.



**Figure C.1 – Examples of the response time
of the stretchable strain sensors**

Annex D (normative)

Examples of hysteresis calculations

There can be several methods to calculate the hysteresis behaviour of the sensors. Figure D.1 shows an example of the hysteresis behaviour of a stretchable resistive strain sensor.

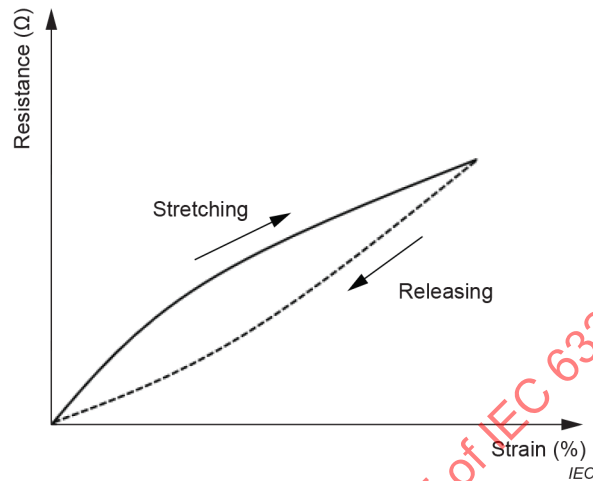


Figure D.1 – Example of the hysteresis behaviour of a stretchable strain sensor

In many cases, the main portion of the hysteresis curve is not a simple straight line. Non-linearity and sampling error tend to make the line less than ideal in Figure D.2.

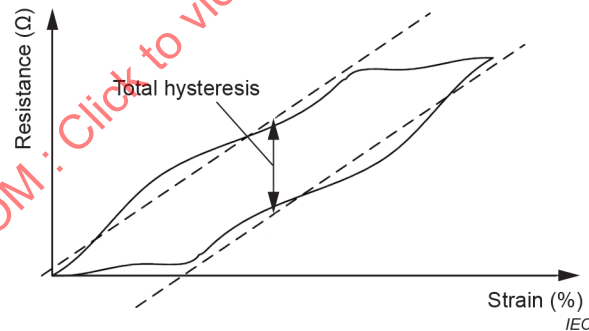


Figure D.2 – Example calculation of hysteresis behaviour

The calculation of the hysteresis occurs at the midpoint of the curve shown in Figure D.3. This point can be located with the following formula. X in the formula represents strain and Y represents resistance.

$$X_m = \left(\frac{X_{\max} - X_{\min}}{2} \right) + X_{\min}$$

$$\text{Hysteresis \%} = \frac{|Y_{mn} - Y_{mp}|}{(Y_{\max} - Y_{\min})} \times 100 \%$$

Once the midpoint has been located, the two Y values (positive and negative going) can be obtained and the hysteresis can be calculated from the above equation.

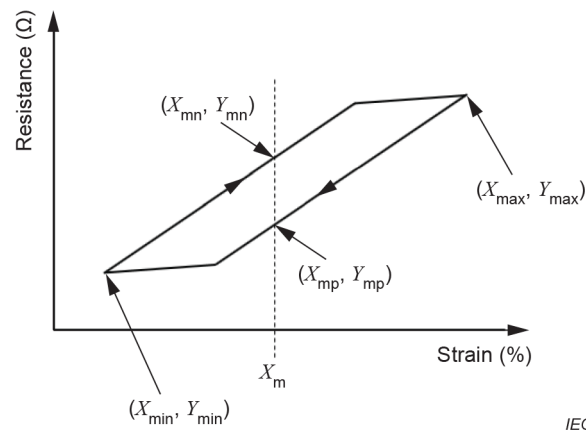


Figure D.3 – Calculation of hysteresis behaviour of the stretchable strain sensor

The hysteresis magnitude of the stretchable sensor can also be evaluated by quantifying the areal ratio of the loading and unloading curves [8]. In Figure D.4, the degree of hysteresis (DH) can be calculated as follows:

$$DH = \frac{A_s - A_R}{A_s} \times 100\%$$

where A_s and A_R are the areas of stretching and releasing curves, respectively.

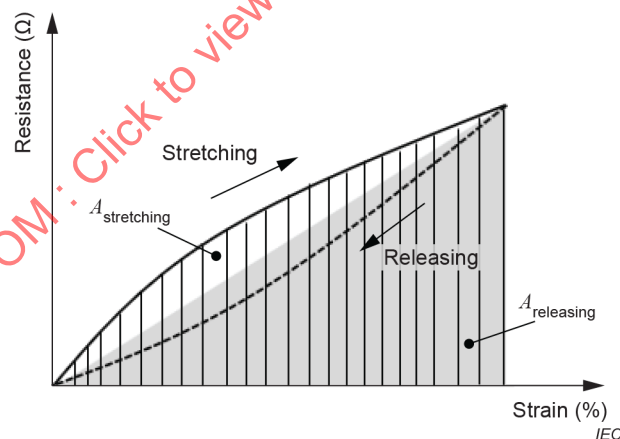


Figure D.4 – Example of calculation of the degree of hysteresis

Bibliography

- [1] IEC 63203-101-1:2021, *Wearable electronic devices and technologies – Part 101-1: Terminology*
- [2] IEC 62047-22:2014, *Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices – Part 22: Electromechanical tensile test method for conductive thin films on flexible substrates*
- [3] ASTM E251-92, *Standard test methods for performance characteristics of metallic bonded resistance strain gages*
- [4] Y. Li, B. Zhou, G. Zheng, X. Liu, T. Li, C. Yan, C. Cheng, K. Dai, C. Liu, C. Shena and Z. Guo, *Continuously prepared highly conductive and stretchable SWNT/MWNT synergistically composited electrospun thermoplastic polyurethane yarns for wearable sensing*, Journal of Materials Chemistry C, 6, 2258-2269, 2018
- [5] C. G. Lee, B. S. Kwon, H. M. Nam, D. M. Seo, J. Park, H. Hwangbo, L. S. Park, S. Y. Nam, *Stretchable Strain Sensors Fabricated by Screen Printing of Silver Paste on the Surface Modified Transparent Elastomeric Polyurethane Films*, Materials Sciences and Applications, 9, 1008-1020, 2018
- [6] J. Tolvanen, J. Hannu, H. Jantunen, *Stretchable and Washable Strain Sensor Based on Cracking Structure for Human Motion Monitoring*, Scientific Reports, 8, 13241, 2018
- [7] C. Li, D. Zhang, C. Deng, P. Wang, Y. Hu, Y. Bin, Z. Fan, and L. Pan, *High performance strain sensor based on buckypaper for full-range detection of human motions*, Nanoscale, 10, 14966, 2018
- [8] S. G. Yoon, H.-J. Koo, and S. T. Chang, *Highly Stretchable and Transparent Microfluidic Strain Sensors for Monitoring Human Body Motions*, ACS Appl. Mater. Interfaces, 7, 27562–27570, 2015
- [9] T.Q. Trung and N.-E. Lee, *Flexible and Stretchable Physical Sensor Integrated Platforms for Wearable Human-Activity Monitoring and Personal Healthcare*, Advanced Functional Materials, 28, 4338–4372, 2016
- [10] M. Amjadi, K.-U. Kyung, I. Park, and M. Sitti, *Stretchable, Skin-Mountable, and Wearable Strain Sensors and Their Potential Applications: A Review*, Advanced Functional Materials, 26, 1678–1698, 2016
- [11] IEC 62047-2:2006, *Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices – Part 2: Tensile testing method of thin film materials*
- [12] ASTM D2653-07, *Standard Test Method for Tensile Properties of Elastomeric Yarns (CRE Type Tensile Testing Machines)*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63203-401-1:2023

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	26
1 Domaine d'application	28
2 Références normatives	28
3 Termes et définitions	28
3.1 Termes et définitions	28
3.2 Symboles et abréviations	29
4 Environnements d'essai	29
5 Specimen d'essai	30
5.1 Forme du spécimen d'essai de la jauge de contrainte extensible	30
5.2 Mesurage des dimensions	30
6 Méthode d'essai et appareillage d'essai	31
6.1 Généralités	31
6.2 Appareillage d'essai et mesurage	31
7 Mode opératoire d'essai	35
8 Mesurage des performances et de l'endurance de la jauge	35
8.1 Coefficient de traction	35
8.1.1 Généralités	35
8.1.2 Objectif	35
8.1.3 Mode opératoire d'essai	36
8.2 Linéarité	36
8.2.1 Objectif	36
8.2.2 Mode opératoire d'essai	36
8.3 Caractéristiques de réponse	36
8.3.1 Généralités	36
8.3.2 Objectif	37
8.3.3 Mode opératoire d'essai	37
8.4 Hystérésis	37
8.4.1 Généralités	37
8.4.2 Objectif	37
8.4.3 Mode opératoire d'essai	38
9 Rapport d'essai	38
Annexe A (informative) Mesurage de la résistance de la jauge de contrainte	39
Annexe B (informative) Effets du taux de déformation sur les performances de la jauge de contrainte extensible	40
Annexe C (informative) Mesurage du temps de réponse de la jauge de contrainte extensible	41
Annexe D (normative) Exemples de calcul de l'hystérésis	42
Bibliographie	44
Figure 1 – Forme d'un spécimen d'essai de la jauge de contrainte extensible	30
Figure 2 – Exemple d'une machine d'essai d'étirement	31
Figure 3 – Schéma d'une machine d'essai d'étirement et d'une méthode de mesure à deux fils	32
Figure 4 – Schéma d'une machine d'essai d'étirement et d'une méthode de mesure à quatre fils	34

Figure 5 – Mesurage de la linéarité de la jauge de contrainte extensible.....	36
Figure A.1 – Variations des résistances électriques lorsque la jauge de contrainte est étirée	39
Figure B.1 – Exemples de l'incidence du taux de déformation sur les performances de la jauge de contrainte extensible	40
Figure C.1 – Exemples de temps de réponse des jauges de contrainte extensibles	41
Figure D.1 – Exemple de comportement d'hystérésis d'une jauge de contrainte extensible	42
Figure D.2 – Exemple de calcul du comportement d'hystérésis	42
Figure D.3 – Calcul du comportement d'hystérésis d'une jauge de contrainte extensible.....	43
Figure D.4 – Exemple de calcul du degré d'hystérésis	43

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63203-401-1:2023

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TECHNOLOGIES ET DISPOSITIFS ÉLECTRONIQUES PRÊTS-À-PORTER –

**Partie 401-1: Dispositifs et systèmes: éléments de fonctionnement –
Méthode d'évaluation de la jauge de contrainte extensible de type résistif**

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.

L'IEC 63203-401-1 a été établie par le comité d'études 124 de l'IEC: Technologies et dispositifs électroniques prêts-à-porter. Il s'agit d'une Norme internationale.

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

Projet	Rapport de vote
124/223/FDIS	124/239/RVD

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

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

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 63203, publiées sous le titre général *Technologies et dispositifs électroniques prêts-à-porter*, se trouve sur le site web de l'IEC.

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

- reconduit,
- supprimé, ou
- révisé

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

TECHNOLOGIES ET DISPOSITIFS ÉLECTRONIQUES PRÊTS-À-PORTER –

Partie 401-1: Dispositifs et systèmes: éléments de fonctionnement – Méthode d'évaluation de la jauge de contrainte extensible de type résistif

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 63203-401 spécifie une méthode de mesure de la contrainte de traction pour les jauges de contrainte extensible de type résistif. Le présent document décrit les procédures de caractérisation pour l'évaluation du coefficient de traction, de la linéarité, des caractéristiques de réponse et de l'hystérésis des jauges de tension unimodales. Toutefois, il n'est pas adéquat pour l'évaluation des propriétés physiques des matériaux de la jauge, tels que le module d'élasticité, la limite d'élasticité et le coefficient de Poisson.

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 62899-202-4:2021, *Printed electronics – Part 202-4: Materials – Conductive ink – Measurement methods for properties of stretchable printed layers (conductive and insulating)* (disponible en anglais seulement)

ISO 291:2008, *Plastiques — Atmosphères normales de conditionnement et d'essai*

ISO/TS 12901-2:2014, *Nanotechnologies — Gestion du risque professionnel appliquée aux nanomatériaux manufacturés — Partie 2: Utilisation de l'approche par bandes de dangers*

3 Termes et définitions

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et 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 <https://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>

3.1.1

substrat extensible matériau extensible

substrat ou matériau capable de retrouver ses dimensions et sa forme d'origine immédiatement après la suppression de la force d'extension qui provoque la déformation

Note 1 à l'article: Dans le présent document, la notion "d'extensibilité" est fondée sur l'élasticité du substrat.

[SOURCE: IEC 63203-101-1:2021, 3.10 [1]]

3.1.2**coefficient de traction** G_F

rapport entre la modification de résistance électrique divisée par la résistance originale (R_0 , résistance en configuration non déformée) et la déformation d'ingénierie (e) le long de l'axe d'étirement

$$G_F = \frac{(R - R_0) / R_0}{e}$$

Note 1 à l'article: Le coefficient de traction est exprimé par $G_F = \frac{(R - R_0) / R_0}{e}$, où R_0 est la résistance initiale dans la configuration non déformée, R est la résistance électrique dans la configuration déformée, et e est la contrainte de traction.

[SOURCE: IEC 62047-22:2014, 3.1.1 [2] modifié – "le long de l'axe d'étirement" a été ajouté à la définition, et, dans la note à l'article, " R étant la résistance électrique dans la configuration déformée" a été remplacé par "où R_0 est la résistance initiale dans la configuration non déformée, R est la résistance électrique dans la configuration déformée, et e est la contrainte de traction".]

3.1.3**longueur calibrée**

longueur de la partie active d'une jauge de contrainte extensible dans la direction de l'axe de mesure

3.2 Symboles et abréviations

Symbole	Unité	Description
a	mm	Largeur de la couche mince de type résistif
h	μm	Épaisseur de la couche mince de type résistif
l_0	mm	Longueur calibrée de la jauge
l_1	mm	Longueur de la couche mince extensible de type résistif

4 Environnements d'essai

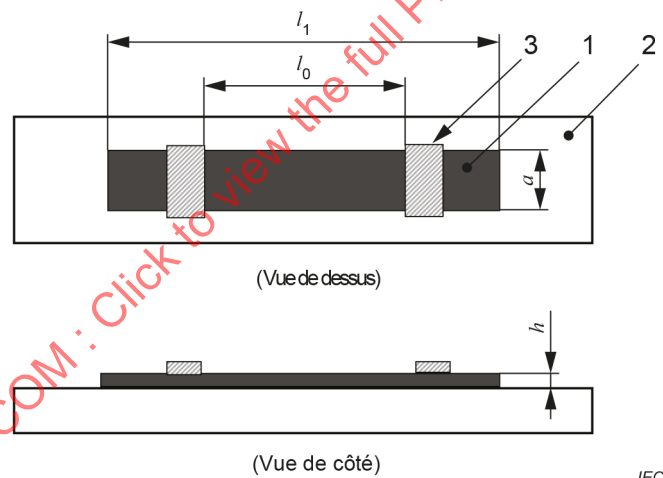
Les essais doivent être réalisés dans les conditions de température et d'humidité constantes. Comme les conditions environnementales, y compris la température et l'humidité, sont susceptibles d'affecter les propriétés électriques et mécaniques des matériaux de type résistif et des substrats, la température et l'humidité doivent être surveillées pendant les essais. Les fluctuations de température pendant un essai doivent rester inférieures à ± 2 °C. Par conséquent, lorsque de tels matériaux sont soumis à l'essai, la variation de l'humidité relative (HR) dans le laboratoire d'essai doit rester inférieure à ± 10 %. La température et l'humidité relative recommandées sont respectivement de 23 °C $\pm$ 2 °C et de 50 ± 10 %, conformément à la classe 2 des atmosphères normales spécifiées dans l'ISO 291. Chaque fois qu'un essai est réalisé, les conditions environnementales doivent être enregistrées.

5 Spécimen d'essai

5.1 Forme du spécimen d'essai de la jauge de contrainte extensible

La forme de la jauge de contrainte extensible à soumettre à l'essai doit être rectangulaire ou carrée. Le spécimen d'essai comporte un substrat extensible, et la couche mince de type résistif est déposée sur ce substrat extensible ou sur une couche unique de matériaux composites de type résistif. La Figure 1 représente la forme de base du spécimen d'essai y compris les pastilles ou la couche métallique pour la connexion électrique. Pour les pastilles, la couche ou le revêtement métallique mince est déposée ou fabriqué sur la couche de la jauge de type résistif. Les matériaux de la couche à faible rigidité sont fabriqués aussi minces que possible (par exemple, avec une épaisseur plus fine que quelques micromètres) de sorte que l'étirement du matériau de la jauge de type résistif ne soit pas limitée par le matériau de la pastille. Certains matériaux composites de la jauge de type résistif peuvent être sensibles au processus de dépôt. Ceci étant, il est possible que les matériaux de la jauge de type résistif soient endommagés pendant le processus de dépôt. Dans ce cas, des pinces métalliques peuvent être utilisées pour la connexion électrique à la place des pastilles métalliques. La longueur de la couche mince extensible de type résistif l_1 , peut être identique à la longueur du substrat extensible. La largeur du substrat extensible est supérieure ou égale à la largeur de la couche mince de type résistif.

Pour une répartition uniforme de la déformation, une forme de bande rectangulaire est recommandée. La variation de la résistance électrique étant liée à la déformation, la résistance électrique est mesurée sur une surface de déformation presque uniforme comprise dans la longueur calibrée. Cette dernière est choisie comme étant la surface sur laquelle la déformation de la couche de la jauge extensible est uniforme sur toute la zone de la section transversale.



Légende

- | | |
|---|-----------------------|
| 1 Matériau de la jauge de contrainte extensible | 2 Substrat extensible |
| 3 Pastille pour la connexion électrique | |

Figure 1 – Forme d'un spécimen d'essai de la jauge de contrainte extensible

5.2 Mesurage des dimensions

La longueur de la jauge de contrainte extensible, en particulier la longueur calibrée, doit être mesurée avec exactitude. En effet, la dimension de la longueur peut être utilisée pour déterminer les propriétés mécaniques et électriques de la jauge de contrainte. Il convient de mesurer directement chaque spécimen d'essai. Les dimensions des spécimens d'essai doivent être spécifiées avec une erreur maximale de $\pm 5 \%$.

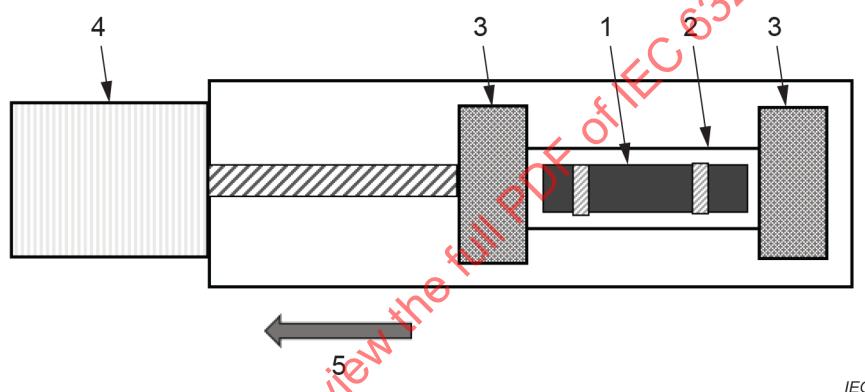
6 Méthode d'essai et appareillage d'essai

6.1 Généralités

L'essai est réalisé en appliquant une charge de traction à un spécimen d'essai. La contrainte de traction induite par la charge de traction doit être uniforme sur une section prédéfinie de la jauge dans le domaine élastique du substrat ou du matériau mince de type résistif. Pour mesurer la variation de la résistance électrique au moyen de la variation de la déformation mécanique, la section de la jauge doit être choisie avec soin. La section de la jauge utilisée pour mesurer la déformation mécanique doit être identique ou proportionnelle à celle utilisée pour mesurer la résistance électrique.

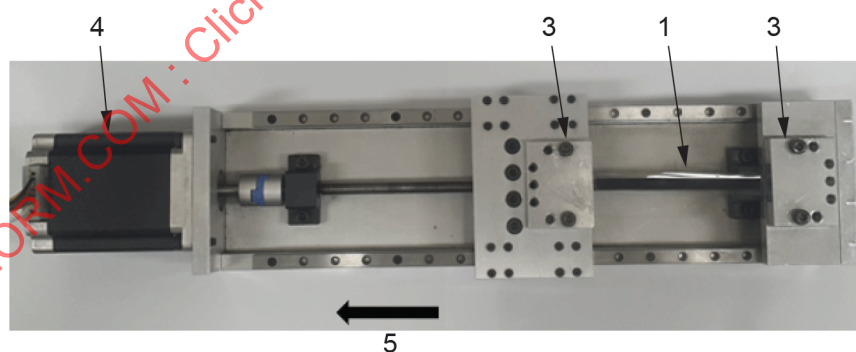
6.2 Appareillage d'essai et mesurage

La machine d'essai d'étirement comprend les éléments de préhension pour maintenir un échantillon d'essai, le moteur d'entraînement qui règle la distance et la vitesse de déplacement pendant l'essai. L'étirement doit être appliqué le long de l'axe de traction de l'échantillon d'essai pour éviter le ceintrage ou la torsion de l'éprouvette d'essai. La Figure 2 représente un exemple d'une machine d'essai d'étirement.



IEC

(a) Schéma d'une machine d'essai d'étirement (vue de dessus)



IEC

(b) Photographie illustrative d'une machine d'essai d'étirement (vue de dessus)

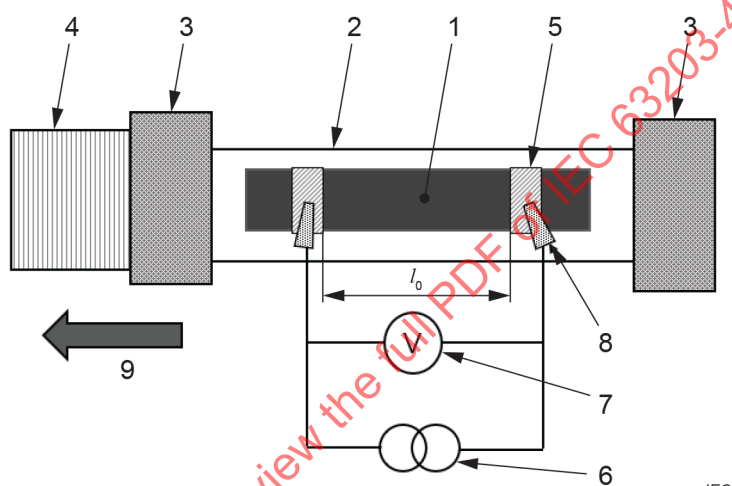
Légende

- | | |
|----------------------------------|-------------------------|
| 1 jauge de contrainte extensible | 2 Substrat extensible |
| 3 Élément de préhension | 4 Moteur d'entraînement |
| 5 Direction du mouvement | |

Figure 2 – Exemple d'une machine d'essai d'étirement

Une machine d'essai d'étirement verticale peut être utilisée si la déformation de la jauge extensible en raison de son propre poids peut être ignorée. Le circuit électrique de mesure peut utiliser une méthode à deux fils ou à quatre-fils suivant la valeur de la résistance électrique de la jauge. Pour une jauge dont la résistance électrique est supérieure à 1 k Ω , une méthode à deux fils peut être utilisée pour faciliter le mesurage. Pour une jauge dont la résistance électrique est inférieure ou égale à 1 k Ω , la méthode à quatre fils doit être utilisée pour éliminer la résistance de contact et du fil de sortie.

La Figure 3 représente le schéma de la méthode à deux fils et le montage de la machine d'essai. La machine d'essai est constituée d'éléments de préhension, d'un capteur dynamométrique (ou d'une jauge de contrainte de mesure), d'un moteur ou d'un actionneur. Établir un spécimen d'essai extensible avec une longueur calibrée supérieure à la distance qui sépare les éléments de préhension. Le montage de mesure de la résistance est constitué d'une source de courant constant, d'un voltmètre, de pinces ou d'électrodes métalliques. Des pinces faites dans un métal résistant à la rouille ou ayant subi un traitement de surface (plaqués or, par exemple) doivent être utilisées pour éviter la rouille.



Légende

- | | |
|-----------------------------------|--|
| 1 Matériau de la jauge extensible | 2 Substrat extensible |
| 3 Élément de préhension | 4 Moteur ou actionneur |
| 5 Pastille | 6 Source de courant constant |
| 7 Voltmètre | 8 Électrode métallique (ou pince métallique) |
| 9 Direction du mouvement | |

Figure 3 – Schéma d'une machine d'essai d'étirement et d'une méthode de mesure à deux fils

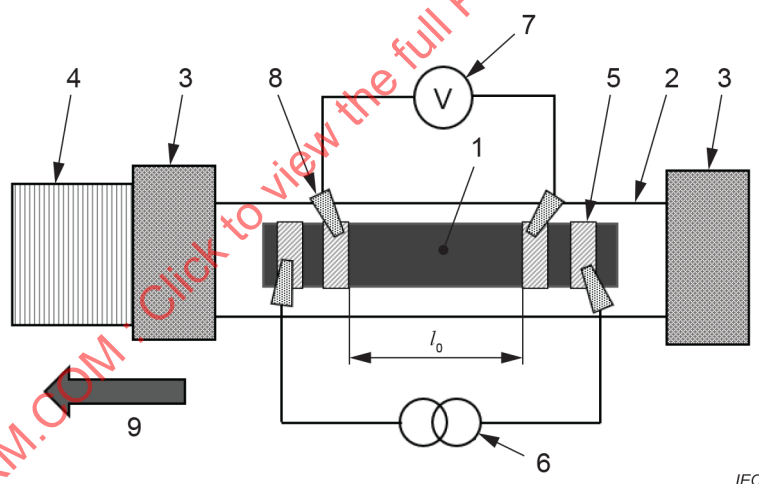
La Figure 4 représente le schéma de la méthode à quatre fils et le montage de la machine d'essai. Le montage de mesure de la résistance est constitué d'une source de courant constant, d'un voltmètre, d'électrodes métalliques ou de pinces métalliques (électrodes de tension) et d'électrodes métalliques (électrodes de courant). Ainsi, une pastille destinée à la connexion électrique de la source de courant constant et une pastille destinée à la connexion électrique du voltmètre sont exigées de chaque côté de l'échantillon. La fabrication des pastilles est expliquée en 5.1. La Figure 4 a) représente le montage d'essai initial et la Figure 4 b) le montage d'essai pendant l'étirement. Les exemples de résistance ou variations de résistance de la jauge pendant l'essai d'étirement sont représentés à l'Annexe A.

Les règles de qualité certifiées ou l'extensomètre mécanique sont utilisées pour mesurer la longueur calibrée étirée (l_s). Plusieurs méthodes optiques utilisant un laser, une lumière d'interférence, une caméra et des systèmes d'images tels que la corrélation d'images numériques (DIC - digital image correlation) peuvent être utilisées pour mesurer la longueur calibrée étirée. Plusieurs méthodes sont possibles pour mesurer les variations de résistance de la jauge avec une résolution et une exactitude suffisantes.

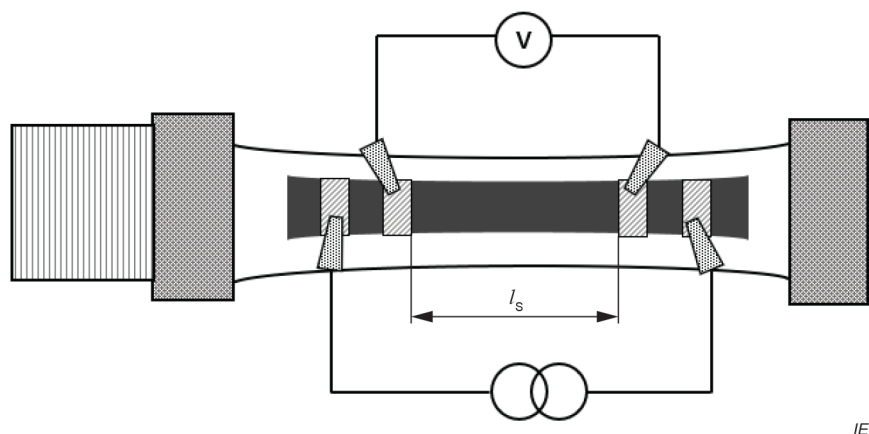
Pendant l'étirement, il y a glissement ou frottement entre la pastille et l'électrode métallique ou la pince métallique, ce qui altère la valeur de la résistance électrique de la jauge. Dans ce cas, une connexion électrique plus stable doit être utilisée (en soudant un fil électrique à la pastille, par exemple). En particulier, l'essai d'étirement continu cyclique doit exiger une connexion électrique stable. La Figure 4 c) représente un exemple de montage d'essai pendant l'étirement.

La Figure 4 d) représente un autre exemple de montage d'essai. Ce montage et cette méthode d'essai doivent être conformes à leur description détaillée donnée dans l'IEC 62899-202-4:2021. Lorsque cette méthode d'essai est utilisée, il faut noter que la contrainte n'est pas relativement uniforme sur tout l'échantillon dans la direction latérale.

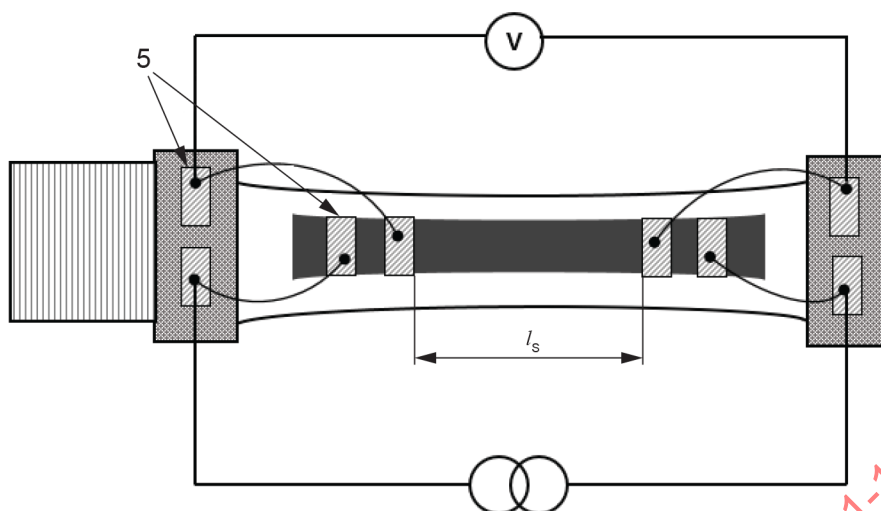
Pour éviter le glissement de l'échantillon pendant l'essai d'étirement, la machine d'essai doit utiliser le système de préhension qui maintient l'échantillon d'essai de manière uniforme et ferme. Le système de préhension ne doit pas provoquer de dommages prématurés, de défaillances et de rayures sur l'échantillon. Pour des échantillons très extensibles, qui comprennent des élastomères, tout serrage excessif de la préhension doit également être évité afin d'empêcher de concentrer la contrainte locale, de rayer ou d'endommager le substrat dans la zone de fixation. L'échantillon ne doit pas se tordre ou fléchir pendant l'étirement.



a) Montage d'essai initial utilisant la méthode à quatre fils

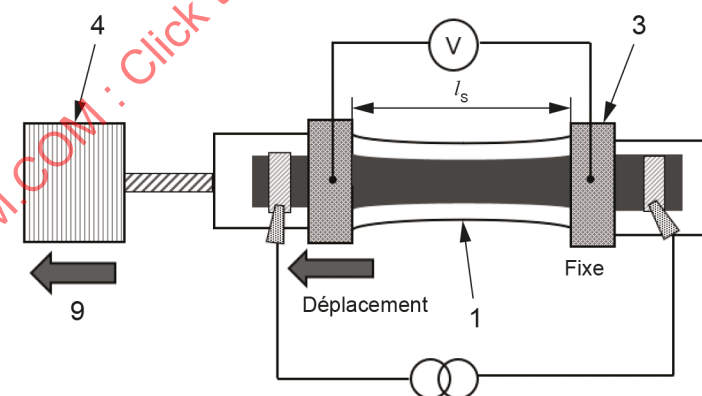
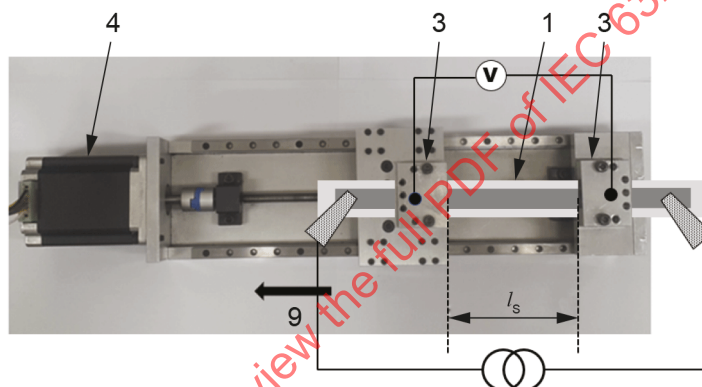


b) Montage d'essai pendant l'étirement utilisant la méthode à quatre fils



IEC

c) Exemple de montage d'essai pendant l'étirement utilisant la méthode à quatre fils et une connexion électrique stable



IEC

d) Autre exemple de montage d'essai pendant l'étirement utilisant la méthode à quatre fils et une connexion électrique stable

Légende

- | | |
|-----------------------------------|--|
| 1 Matériau de la jauge extensible | 2 Substrat extensible |
| 3 Élément de préhension | 4 Moteur ou actionneur |
| 5 Pastille | 6 Source de courant constant |
| 7 Voltmètre | 8 Électrode métallique (ou pince métallique) |
| 9 Direction du mouvement | l_s Longueur calibrée étirée |

Figure 4 –Schéma d'une machine d'essai d'étirement et d'une méthode de mesure à quatre fils

7 Mode opératoire d'essai

Le mode opératoire d'essai est le suivant.

- 1) Installer la jauge à soumettre à l'essai dans l'appareillage d'essai. Centrer la jauge de façon symétrique sur la zone de contrainte constante et l'aligner avec l'axe longitudinal de la direction du mouvement de l'appareillage d'essai.
- 2) Mesurer la résistance électrique initiale de la jauge.
- 3) La jauge est étirée avec la contrainte de traction croissante jusqu'à une contrainte de traction désignée. La résistance électrique de la jauge est mesurée simultanément, sans retard. Enregistrer la déformation et la résistance électrique.
- 4) L'essai est réalisé à une vitesse de déformation constante qui dépend du matériau de la jauge et de l'application réelle de la jauge. Le taux de déformation est compris entre $0,01 \text{ min}^{-1}$ et 1 min^{-1} pour éviter toute éventuelle incidence externe sur les performances de la jauge en raison de la vitesse d'étirement ou au taux de déformation, en fonction du matériau de la jauge et des conditions réelles d'utilisation de la jauge de contrainte. Les exemples de variation de la résistance relative des jauges de contrainte à différents taux de déformation dans lesquels le taux de déformation influe sur les performances de la jauge sont représentés à l'Annexe B. Lorsque la vitesse n'est pas spécifiée, utiliser la vitesse la plus basse.
- 5) Cette opération est répétée en augmentant la contrainte de traction jusqu'à ce que la valeur de résistance atteigne un niveau inacceptable dans les conditions réelles d'utilisation de la jauge de contrainte. L'essai est arrêté à ce stade.
- 6) Supprimer la contrainte sur la jauge lorsqu'une défaillance électrique se produit dans la jauge ou lorsqu'une rupture ou des dommages apparaissent dans la couche mince de type résistif ou dans le substrat. L'essai prend également fin lorsqu'une défaillance électrique se produit dans la jauge ou lorsqu'une rupture ou des dommages apparaissent dans la couche mince de type résistif ou dans le substrat.

8 Mesurage des performances et de l'endurance de la jauge

8.1 Coefficient de traction

8.1.1 Généralités

Le coefficient de traction est le rapport entre la variation relative de la résistance et la déformation mécanique. Il est déterminé à partir de la moyenne de la pente de la droite reliant les points de mesure dans le graphique de la variation relative de la résistance électrique en fonction de la contrainte de traction nominale. Le mesurage du coefficient de traction de la jauge de contrainte extensible peut être similaire à celle conventionnelle à feuille métallique, à l'exception de l'ampleur de la déformation appliquée. Le coefficient de traction peut varier avec la déformation en raison des caractéristiques non linéaires du matériau de type résistif et de l'élastomère. En outre, il convient de noter que la variation de la résistance en fonction de la déformation n'est pas seulement due aux variations dimensionnelles de la jauge de contrainte de type résistif, mais que la résistivité du matériau de type résistif varie également en fonction de la déformation. Dans ce cas, les caractéristiques du coefficient de traction en fonction de la déformation doivent être consignées dans le rapport.

NOTE Des informations détaillées concernant le mesurage des caractéristiques thermiques de la jauge de contrainte peuvent être consultées dans l'ASTM E251-92 [3]¹.

8.1.2 Objectif

L'objectif de cette méthode est de mesurer le coefficient de traction de la jauge de contrainte extensible.

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

8.1.3 Mode opératoire d'essai

Le mode opératoire d'essai qui permet de mesurer le coefficient de traction de la jauge de contrainte est globalement identique au mode opératoire d'essai décrit en 6.1 et 7, à ceci près que la jauge de contrainte est étirée jusqu'à la plage de contrainte de fonctionnement désignée de la jauge de contrainte extensible. Le coefficient de traction peut être calculé comme le rapport de la variation de la résistance électrique de la jauge de contrainte à la variation de la longueur (déformation) le long de l'axe d'étirement.

8.2 Linéarité

8.2.1 Objectif

La linéarité de la jauge de contrainte extensible se rapporte à la relation entre la variation relative du signal électrique, tel que la résistance électrique, et la déformation appliquée, comme cela est représenté à la Figure 5. L'écart entre la courbe d'étalonnage et une droite spécifiée démontre la linéarité d'une jauge. Son degré de similitude avec une droite décrit combien la sortie de la jauge est linéaire. Une jauge extensible ayant une bonne linéarité peut produire de manière fiable des signaux de détection même en l'absence d'un étalonnage rigoureux sur une vaste plage de déformation due à la traction.

8.2.2 Mode opératoire d'essai

Mesurer les valeurs de sortie de la résistance électrique lorsque la jauge de contrainte extensible est étirée dans la plage d'extensibilité de mesure incluant le point final. Il convient de relever au moins cinq mesurages dans la plage de mesure possible. Ces points sont ensuite reportés sur un graphique, comme cela est représenté à la Figure 5. Une tentative de tracer une droite qui passe par ces points est effectuée. Le point qui s'écarte le plus de la droite simple est utilisé pour spécifier la "linéarité" de la jauge de contrainte extensible. Le degré auquel les points s'écartent de la droite de régression est appelé "erreur de linéarité de la jauge de contrainte".

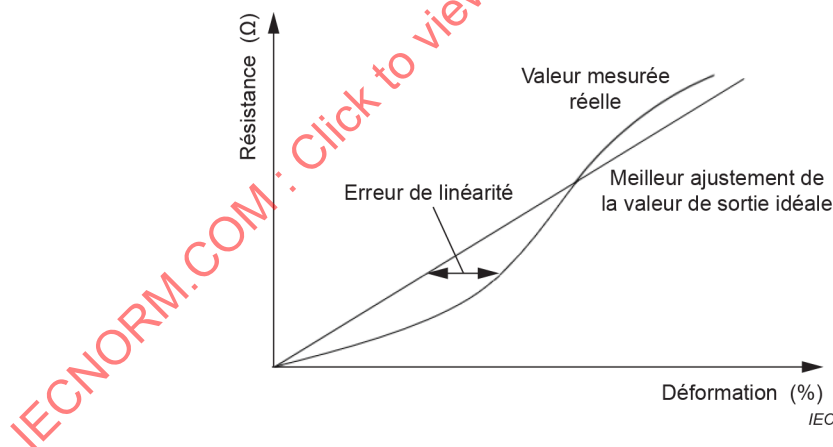


Figure 5 – Mesurage de la linéarité de la jauge de contrainte extensible

8.3 Caractéristiques de réponse

8.3.1 Généralités

Le temps de réponse est la vitesse à laquelle la jauge réagit à une déformation externe. Les caractéristiques de réponse déterminent la rapidité avec laquelle la jauge de contrainte extensible atteint une réponse en régime établi. Les caractéristiques de réponse de la jauge de contrainte extensible sont importantes lorsque la jauge de contrainte est utilisée pour surveiller un mouvement humain ou une activité. Étant donné qu'un retard de réponse existe dans toutes les jauges de contrainte extensibles à base d'élastomère en raison de la nature viscoélastique des élastomères, il est recommandé de mesurer le temps de réponse de la jauge extensible. Le temps de réponse exigé pour une jauge extensible dépend de l'application de la jauge.