

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Fibre optic sensors –

Part 5-1: Tilt measurement – Tilt sensors based on fibre Bragg gratings

Capteurs fibroniques –

Partie 5-1: Mesure d'inclinaison – Capteurs d'inclinaison basés sur des réseaux de Bragg à fibres

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61757-5-1:2021



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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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

Fibre optic sensors –

Part 5-1: Tilt measurement – Tilt sensors based on fibre Bragg gratings

Capteurs fibroniques –

Partie 5-1: Mesure d'inclinaison – Capteurs d'inclinaison basés sur des réseaux de Bragg à fibres

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 33.180.99

ISBN 978-2-8322-9949-4

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

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	7
4 Symbols	8
5 Structure and characteristics	9
5.1 Fibre Bragg grating (FBG).....	9
5.2 FBG tilt sensor configuration.....	9
5.3 Reference wavelength	11
5.4 Stability behaviour	11
5.4.1 Drift and creep.....	11
5.4.2 Hysteresis	12
5.5 Test specimen	12
5.6 Indication of the measured values.....	12
5.7 Zero point related measurement	12
5.8 Non-zero point related measurement	12
5.9 Production set.....	12
5.10 FBG tilt sensor standard type.....	13
5.11 FBG tilt sensor series	13
6 Features and characteristics to be measured.....	13
6.1 Sampling and statistical evaluation	13
6.1.1 Sampling	13
6.1.2 Reporting the measuring result.....	13
6.1.3 Sample conditioning	14
6.1.4 Ambient test conditions.....	14
6.1.5 Required type of test for individual characteristics	14
6.2 Bragg wavelength λ_B	14
6.2.1 General	14
6.2.2 Measuring procedure	15
6.2.3 Evaluation	15
6.2.4 Reporting.....	15
6.3 FBG spectral width.....	15
6.3.1 Measuring procedure	15
6.3.2 Evaluation	15
6.3.3 Reporting.....	15
6.4 FBG reflectivity	16
6.4.1 Measuring procedure	16
6.4.2 Evaluation	16
6.4.3 Reporting.....	16
6.5 Tilt measurement	16
6.5.1 Test set-up	16
6.5.2 Measuring procedure	17
6.5.3 Calibration and evaluation	18
6.6 Gauge factor κ_θ	19
6.7 Temperature and humidity ranges.....	19

6.7.1	General	19
6.7.2	Measuring procedure	19
6.7.3	Evaluation	20
6.7.4	Reporting.....	20
7	Features and characteristics to be reported	20
7.1	Construction details	20
7.2	Configuration of the FBG tilt sensor	20
7.3	Temperature and humidity range.....	20
7.4	Connecting requirement.....	20
8	Recommendations for use of FBG measuring instruments	20
Figure 1 – Examples for measuring single axis tilt changes.....		10
Figure 2 – Examples of Bragg wavelength change caused by tilt		10
Figure 3 – Example of tilt sensor using FBG (schematic diagram).....		11
Figure 4 – Schematic diagram of tilt measurement system.....		16
Figure 5 – Example of temperature dependence of the Bragg wavelengths of two FBGs		17
Figure 6 – Example of tilt dependence of the Bragg wavelengths of FBG1 and FBG2		18
Table 1 – Required type of test for individual characteristics		14

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61757-5-1:2021

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

FIBRE OPTIC SENSORS –**Part 5-1: Tilt measurement –
Tilt sensors based on fibre Bragg gratings****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 61757-5-1 has been prepared by subcommittee 86C: Fibre optic systems and active devices, of IEC technical committee TC86: Fibre optics. It is an International Standard.

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

Draft	Report on voting
86C/1699/CDV	86C/1718/RVC

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.

A list of all parts in the IEC 61757 series, published under the general title *Fibre optic sensors*, 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,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61757-5-1:2021

INTRODUCTION

The IEC 61757 series is published with the following logic: the sub-parts are numbered as IEC 61757-M-T, where M denotes the measure and T, the technology.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61757-5-1:2021

FIBRE OPTIC SENSORS –

Part 5-1: Tilt measurement – Tilt sensors based on fibre Bragg gratings

1 Scope

This part of IEC 61757 defines the terminology, structure, characteristics and their measurement method including the procedures, for an optical tilt sensor based on fibre Bragg gratings (FBGs) as the sensitive element.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60050 (all parts), *International Electrotechnical Vocabulary (IEV)* (available at www.electropedia.org)

IEC 60068-2 (all parts), *Environmental testing – Part 2X: Tests*

IEC 61300-2 (all parts), *Fibre optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures – Part 2X: Tests*

IEC 61754 (all parts), *Fibre optic interconnecting devices and passive components – Fibre optic connector interfaces*

IEC 61757, *Fibre optic sensors – Generic specification*

IEC 61757-1-1:2020, *Fibre optic sensors – Part 1-1: Strain measurement – Strain sensors based on fibre Bragg gratings*

IEC 62129-1, *Calibration of wavelength/optical frequency measurement instruments – Part 1: Optical spectrum analyzers*

IEC 62129-2, *Calibration of wavelength/optical frequency measurement instruments – Part 2: Michelson interferometer single wavelength meters*

IEC 62129-3, *Calibration of wavelength/optical frequency measurement instruments – Part 3: Optical frequency meters internally referenced to a frequency comb*

ISO/IEC GUIDE 98-3, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 61757, IEC 61757-1-1, IEC 60050 (all parts) and the following apply.

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

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

3.1

tilt

angle of rotation

for a point rotating around a fixed axis, quotient of the length travelled by the point, and the distance from the point to the axis, taken positive or negative, according to whether the rotation is observed to be in the counterclockwise sense or in the clockwise sense, respectively, for an observer looking in the direction opposite to the direction of the axis

Note 1 to entry: Angle of rotation can take any real value, whereas the angle or plane angle defined in geometry (see IEC 60050-102:2007, 102-04-14) is non-negative and restricted to the closed interval $[0, \pi]$.

Note 2 to entry: The coherent SI unit of angle is radian (symbol rad). Other units accepted for use with the SI are degree (symbol °), minute (symbol '), and second (symbol ") : $1^\circ = (\pi/180)$ rad, $1' = (1/60)^\circ$, $1'' = (1/60)'$.

[SOURCE: IEC 60050-113:2011, 113-01-43, modified – in the term, "oriented angle" has been replaced with "tilt"]

3.2

FBG tilt sensor

fibre optic sensor that uses one or more fibre Bragg gratings as a sensitive element for tilt measurements in either single axis or multiple axes

3.3

gauge factor

κ_θ

ratio of the relative change in wavelength $\Delta\lambda/\lambda_0$ to a tilt change $\Delta\theta$ introduced to an FBG tilt sensor and expressed by the gauge factor κ_θ with a unit of 1/rad measured by the manufacturer, and expressed as:

$$\kappa_\theta = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0 \Delta\theta}$$

Note 1 to entry: The gauge factor κ_θ is used by manufacturers to express the tilt response of their products.

Note 2 to entry: The gauge factor κ_θ for an FBG tilt sensor assumes a linear characteristic. Considering the whole measurement system (sensor, device, cabling), it can be separately defined for the components of the measurement system. It is only valid for defined conditions. In the case of a non-linear characteristic, the gauge factor κ_θ is considered as linear within a defined permissible error.

3.4

temperature compensation constant

constant for correcting the influence of temperature changes when the tilt is obtained from the wavelength changes

Note 1 to entry: The temperature compensation constant should be provided by the manufacturer.

4 Symbols

For the purposes of this document, the following symbols apply:

C	temperature compensation constant
D	displacement
$\Delta\theta$	tilt change

ΔT	temperature change
κ_θ	gauge factor
L	length
Λ	FBG period
λ_B	Bragg wavelength
λ_0	reference wavelength

5 Structure and characteristics

5.1 Fibre Bragg grating (FBG)

Fibre Bragg gratings are phase diffraction gratings inscribed into optical waveguides. They are frequently produced using ultraviolet (UV) light (e.g. by an excimer laser at 248 nm). The fibre is exposed to an interference pattern of this UV radiation. UV photosensitive processes then produce changes in the refractive index of the fibre core which is susceptible to these. The interference pattern is an image in the fibre core of a periodically changing refractive index. Incident and transported light along the fibre is additively superposed for a certain wavelength at these points (constructive interference); this spectral part of the incident light is reflected. In the transmitted light, this wavelength (denoted Bragg wavelength λ_B) is attenuated according to FBG reflectivity.

The value of the reflected Bragg wavelength λ_B is determined from the Bragg condition:

$$\lambda_B = 2 \cdot n_{\text{eff}} \cdot \Lambda \quad (1)$$

According to Formula (1), the Bragg wavelength λ_B of the FBG depends on the effective refractive index of the FBG and the FBG period Λ . The spectral width of the Bragg wavelength peak is essentially determined by the number of grating periods and the magnitude of the refractive index modulation (see IEC 61757-1-1:2020, 5.1).

5.2 FBG tilt sensor configuration

The FBG tilt sensor can be made of various materials and with various forms as a segment of optical fibre with one or more FBG sensors (in the following denoted Bragg grating fibre). The FBG tilt sensor is capable of measuring both absolute and relative tilt, but it is more suitable for tilt monitoring using relative tilt changes. The reference axis for absolute tilt measurements is the vertical axis.

If the sensor is tilted in such a way that the tilt changes the tensile force applied to the FBG sensor, the tilt can be measured by measuring the reflected Bragg wavelength of the FBG (see Figure 1a) and Figure 1b)). In the example of Figure 1a), the tilt change causes a change in torque due to the repositioning of the weight, which in turn causes a change in the tensile force applied to the FBG, resulting in a change in the FBG reflected wavelength (see Figure 2a), Figure 2b) and Figure 2c)). The method used to convert a tilt change into a change of the Bragg wavelength is not part of this document and can be different depending on the manufacturer.

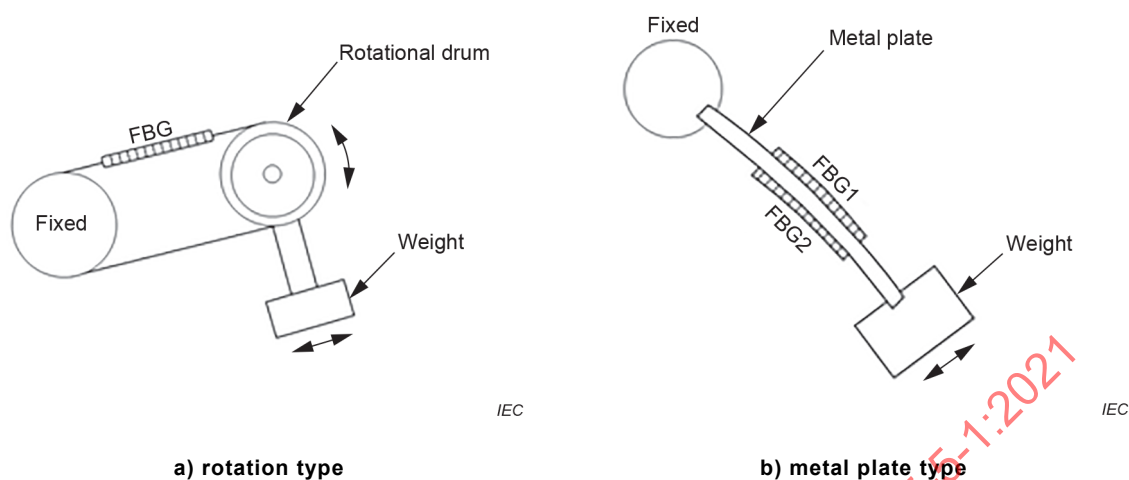


Figure 1 – Examples for measuring single axis tilt changes

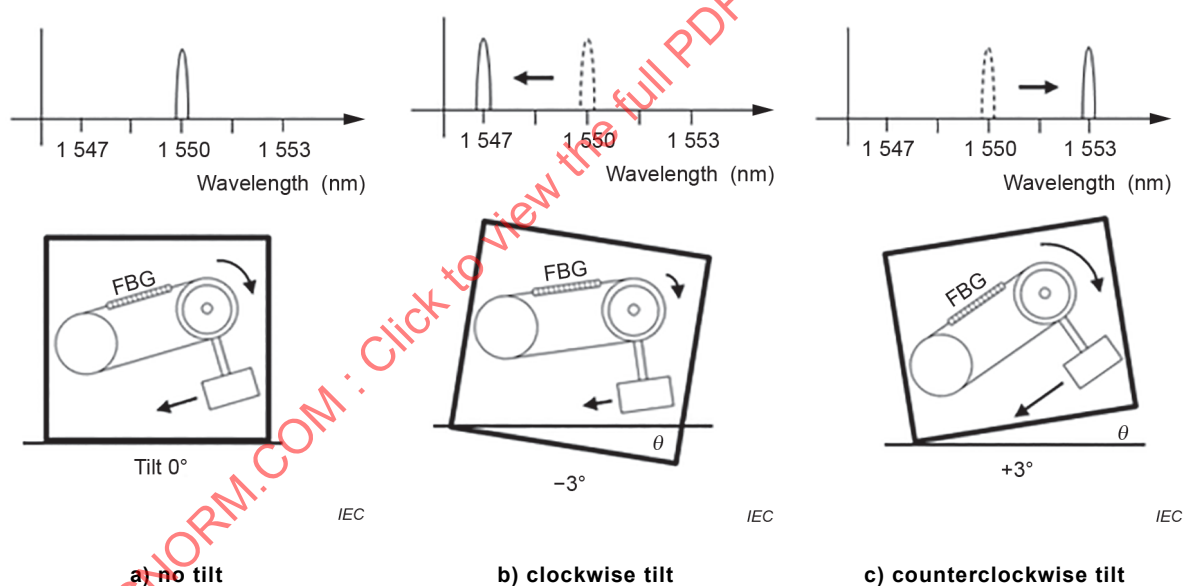


Figure 2 – Examples of Bragg wavelength change caused by tilt

A broadband source and a spectrometer are connected to the tilt sensing FBG by a circulator as shown in Figure 3. An additional FBG (FBG1), placed in close proximity to the tilt sensing FBG (FBG2), is used for temperature compensation, while FBG2 performs tilt measurements. FBG1 and FBG2 can be connected in parallel or in series, as shown in Figure 3.

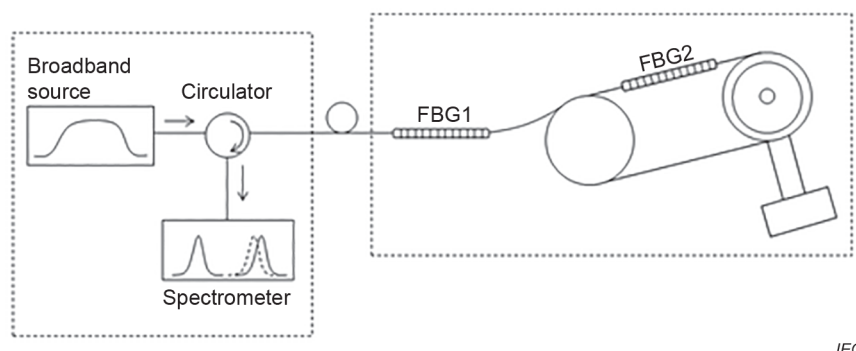


Figure 3 – Example of tilt sensor using FBG (schematic diagram)

5.3 Reference wavelength

Different evaluation methods and different devices result in different Bragg wavelengths being measured for the same filter function of the FBG. In the context of this document, therefore, the result of the wavelength measurement after installation of the FBG tilt sensor with the specified device will be denoted as the reference wavelength λ_0 .

The reference wavelength is not necessarily the same as the Bragg wavelength specified by the manufacturer of the FBG. If the FBG is prestrained, for example, there is a difference between the reference wavelength and the Bragg wavelength. If the FBG is not prestrained, the difference between the reference wavelength and the Bragg wavelength is usually very small, so that both wavelength values can be used without significant error.

If the reference wavelength is measured when the measurement cycle is started, this wavelength measurement can be considered as the zero point measurement value.

5.4 Stability behaviour

5.4.1 Drift and creep

Stability, in general, is the ability of a measurement system to maintain its metrological characteristics and meet other specifications over the intended time of operation. Stability, in the context of this document, describes the property of the applied FBG tilt sensor to keep its optical characteristics constant over a period of use determined by the objectives, or to show only a small permissible deviation.

Variations in the measured value might occur:

- when the materials concerned are subject to long-term stress (creep);
- without loading stress (zero point drift).

This can be caused by the slow progress of chemical or physical degradation within the materials used (e.g. ageing), or by a change in the initial physical conditions (e.g. temperature or humidity).

Creep is a quantity that depends on the materials employed, the set-up of the sensor, and the type of operation, and can only be determined experimentally. According to current experience, the error contribution resulting from creep remains irrelevant within the scope of the given uncertainty of measurement for the gauge factor κ_0 , when the bonding material prescribed by the manufacturer is used.

Drift is a slow change of the metrological characteristics of the measurement system. The drift error of an FBG sensor is negligibly small, according to the state of the art; hence for this document, no further specification is required. However, if drifts are generated by a modified production process, for example, or by applying inadequate recoating material, the drift should be stated.

5.4.2 Hysteresis

Hysteresis in material science describes a particular material behaviour whereby the material does not return to its original state, or does so following a time delay, once the input load has been removed. This means that the output value for an elasto-plastic deformation behaviour does not depend only on the input value but also on rate-dependent processes.

When the tilt (or temperature) of a silica-based FBG changes, the Bragg wavelength commonly shifts without showing a hysteresis effect. If hysteresis occurs for repeated or cyclic conditions within the specified operation range of the sensor, the amount of hysteresis should be described.

5.5 Test specimen

Test specimens are plates or other objects upon which the FBG tilt sensors are installed in order to determine and verify their properties. The concept of a "standard test specimen" is used in connection with calibration and testing. For the general description of measuring procedures, the concept "object of measurement" is used.

5.6 Indication of the measured values

The variations in Bragg wavelength induced in the FBG are scanned by a connected measuring device (measured values) and processed for metrological use (result of measurement). Customarily, the measuring device supplies the optical input signal for the sensor and also records the sensor response signal.

5.7 Zero point related measurement

The concepts of "zero point measurement" and "static or quasi-static measurement", respectively, are used to denote all measurements where the measured value refers to an initial value (the zero point).

The following influencing factors shall also be considered:

- drift in the measuring instrument;
- method of evaluation:
different evaluation methods (using different measuring devices) can result in different offset quantities with respect to the zero point. In case of replacement of the measuring device, the zero point offset between the old and the new instrument should be determined correspondingly;
- creep of the applied sensor.

The scanning procedure of the FBG tilt sensors shall take place in a route-neutral manner, so that the characteristics of the connecting leads and of the optical connectors or splices do not affect the zero point. Nevertheless, intermittent zero point checking is recommended.

5.8 Non-zero point related measurement

For non-zero point related or periodic dynamic measurements, the measured values are not referred to a fixed initial value. This applies only to the amplitude measurement of a periodic oscillation.

5.9 Production set

An FBG set is a batch of FBG produced in the same manufacturing process.

5.10 FBG tilt sensor standard type

An FBG tilt sensor standard type is a batch of FBG tilt sensors with identical physical properties (geometrical dimensions, manufacturing process, materials used, post-processing, and Bragg wavelength).

5.11 FBG tilt sensor series

A series is a batch of FBG tilt sensors for which the materials used and the manufacturing processes are identical, but which can show differences in their Bragg wavelength or dimensions.

6 Features and characteristics to be measured

6.1 Sampling and statistical evaluation

6.1.1 Sampling

6.1.1.1 General

The following sampling methods shall be used according to the intended scope of testing:

- random sampling;
- type testing;
- series testing;
- individual sample testing.

Many of the FBG tilt sensor properties can only be determined on an installed sensor. A statistical evaluation shall be performed in this case. The number of sample sensors as well as the date of evaluation should be noted.

6.1.1.2 Random sampling

The requirement for performing random sampling is the assumption that the variations of the characteristic parameter follow a Gaussian distribution. All sensors chosen for characteristic testing shall belong to the same production set. At least five samples shall be selected. The result of a random sampling test is valid for one production set.

6.1.1.3 Type testing

The type test is a random sampling test as described in 6.1.2, whereby the result of testing of at least five specimens of this type is declared valid for all production sets.

6.1.1.4 Series testing

The series test is a random sampling test as described in 6.1.2, whereby the result is determined for a single specimen out of a sensor series and declared valid for the whole series.

6.1.1.5 Individual sample testing

Each specimen of a sensor series or just a prototype of a unique FBG tilt sensor shall be tested.

6.1.2 Reporting the measuring result

The results of the series tests, type tests and random sampling tests are expressed as the arithmetic mean value and the corresponding standard deviation. The form of the statement of

the standard deviation shall be specified. Estimation of measurement uncertainty shall be carried out according to ISO/IEC GUIDE 98-3.

If sensors X_1 to X_n are tested, then the characteristic is quoted as the mean value $\bar{x}$ of the n values x_1 to x_n measured with the sensors.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

The standard deviation of the n measured values is given by:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

6.1.3 Sample conditioning

The sensors selected for testing shall be allowed to reach equilibrium with the environment in which the test shall be performed; exposure of at least 2 h to such environment should be adopted.

6.1.4 Ambient test conditions

All tests shall be performed at specified temperature and relative humidity conditions; the values of the parameters and their tolerance shall be reported. The recommended ambient temperature is 15 °C to 35 °C, the recommended humidity is 25 % RH to 75 % RH, and the recommended atmospheric pressure is 86 kPa to 106 kPa.

6.1.5 Required type of test for individual characteristics

The required tests for individual characteristics are given in Table 1.

Table 1 – Required type of test for individual characteristics

Design-specific features and characteristics	Type of test
Operating temperature and humidity ranges	Series test
Bragg wavelength	Individual sample test
FBG spectral width	Series test
Reflectivity	Type test
FBG gauge factor	Random sampling test
Temperature compensation constant	Random sampling test

6.2 Bragg wavelength λ_B

6.2.1 General

The following characteristics of an FBG spectrum shall be measured as requested by this document or upon request of the customer:

- peak of Bragg wavelength in nm;

- FBG spectral width in nm;
- FBG reflectivity in %;
- relative side-lobe level (also called side-lobe suppression ratio) in dB;
- FBG signal-to-noise ratio (SNR) in dB;
- Λ_{+0} , Λ_{-0} , first poles (minima) at the peak of the reflected Bragg wavelength.

6.2.2 Measuring procedure

For an FBG with relatively low reflectivity ($R_{\text{FBG}} < 50\%$), the Bragg wavelength shall be measured in reflection. For an FBG with a higher reflectivity ($R_{\text{FBG}} > 90\%$), on the other hand, the Bragg wavelength shall be measured in transmission, because the maximum of the reflected Bragg wavelength becomes progressively more difficult to determine accurately. Therefore, the transmission minimum shall be used for measuring the Bragg wavelength. For intermediate values of reflectivity, either configuration can be used.

Alternatively, in case of a symmetrical spectral response, the Bragg wavelength shall be calculated as the arithmetic mean between the two points of the 3 dB drop-off.

The Bragg wavelength of the FBG shall be measured with sufficient spectral resolution and reported. The measurement method used and the corresponding uncertainty (spectral resolution) should be reported. In case of polarization effects, special measurements have to be carried out.

6.2.3 Evaluation

No particular evaluation is necessary.

6.2.4 Reporting

The measured or calculated Bragg wavelength and the measurement procedure shall be reported. If requested by the customer, the typical FBG spectrum shall also be reported.

6.3 FBG spectral width

6.3.1 Measuring procedure

The FBG spectrum of the FBG tilt sensor shall be measured with sufficient spectral resolution.

The constancy of the spectral width impacts the measurement uncertainty when using mathematical evaluation principles for determining the Bragg wavelength. The spectral width can be affected by different influencing quantities, for example by temperature, maximum possible tilt, and continuous oscillation behaviour.

6.3.2 Evaluation

The measured FBG spectrum shall be evaluated according to the definition. The spectral width shall be determined from a reflection spectrum, whereby the difference of the two wavelength values at the 3 dB drop-off is taken from both sides of the reflection maximum. Alternatively, the transmission spectrum shall be used to determine the Bragg wavelength using an appropriate spectrum evaluation.

6.3.3 Reporting

The typical spectral width shall be reported. If requested by the customer, the FBG spectrum shall also be reported.

6.4 FBG reflectivity

6.4.1 Measuring procedure

The FBG spectrum of the FBG tilt sensor shall be measured with sufficient spectral resolution.

6.4.2 Evaluation

The measured FBG spectrum shall be evaluated according to the definition (see IEC 61757-1-1:2020, 3.5):

$$R_{\text{FBG}} = \frac{P_{\text{FBG}}}{P_0} \times 100 \% \quad (4)$$

$$R_{\text{FBG}} = \frac{P_0 - P_{\lambda_B}}{P_0} \times 100 \% \quad (5)$$

6.4.3 Reporting

The typical reflectivity shall be reported. If requested by the customer, the FBG spectrum shall also be reported.

6.5 Tilt measurement

6.5.1 Test set-up

Place the tilt measurement system on the surface plate of a test bed consisting of two solid metal plates (see Figure 4), and fix the tilt sensor so that it does not slip. The sensor under test shall be well aligned, and the tilt axis fixed to the bed shall be the same as the tilting direction of the sensor to be characterized. When adjusting the tilt knob to increase the angle, the value D in Figure 4 should be accurately measured with a calibrated ruler or vernier calipers. An optical fibre is used to connect FBG1 and FBG2 of the tilt sensor to the interrogator for temperature measurement and tilt measurement.

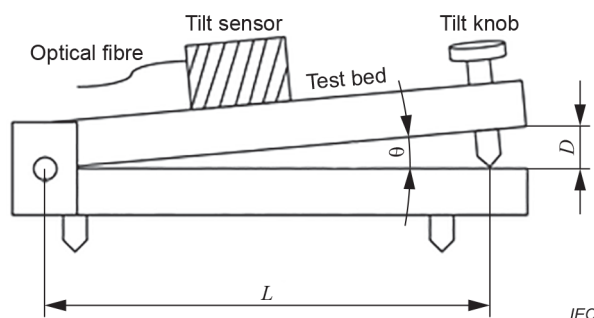


Figure 4 – Schematic diagram of tilt measurement system

The tilt angle θ of the tilt sensor is calculated by Formula (6):

$$\theta = \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \tan^{-1} \left(\frac{D}{L} \right) \quad (6)$$

where

D is the displacement of the surface plate at the tilt knob, as shown in Figure 4;

L is the distance between the tilt axis and the displacement of the surface plate at the tilt knob;

the unit of the tilt angle is degrees.

6.5.2 Measuring procedure

To compensate for the temperature dependence of the Bragg wavelength of the tilt sensor, an additional temperature-measuring FBG (FBG1) is placed close to the tilt-measuring FBG (FBG2) in the tilt sensor (see Figure 3). The temperature-dependence of the FBG is evaluated by measuring the Bragg wavelengths of FBG1 and FBG2 as a function of temperature, as shown in Figure 5, without changing the tilt of the sensor. The slopes of the two curves, m_1 and m_2 (obtained by linear fitting), are usually different, but their relationship can be described by $m_2 = C m_1$, where C is a calibration constant, which varies from sample to sample. The smallest measurement error is usually obtained when C is close to 1. In order to improve the measurement accuracy, it is desirable to remain vibration-free at the moment of measurement.

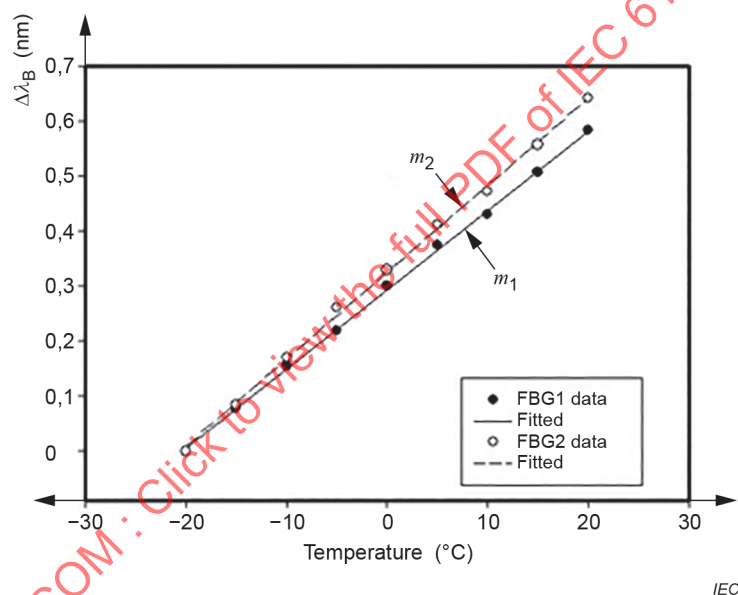


Figure 5 – Example of temperature dependence of the Bragg wavelengths of two FBGs

After the calibration constant C is obtained, the tilt sensor is taken out of the environmental chamber for the tilt test (see Figure 4). After recording an initial value for the Bragg wavelengths of FBG1 and FBG2, turn the tilt adjustment knob to increase the angle by a certain amount and record the reflected Bragg wavelengths of FBG1 and FBG2 at the new angle. Repeat these measurements at other tilt angles and increase the tilt up to the sensor specification. These measurements yield a relationship between tilt and wavelength change, as shown in Figure 6. It is recommended to repeat these measurements three or more times to obtain accurate average values for the whole range of tilt angles. Tilt tests are required to be conducted in a steady temperature and humidity environment.

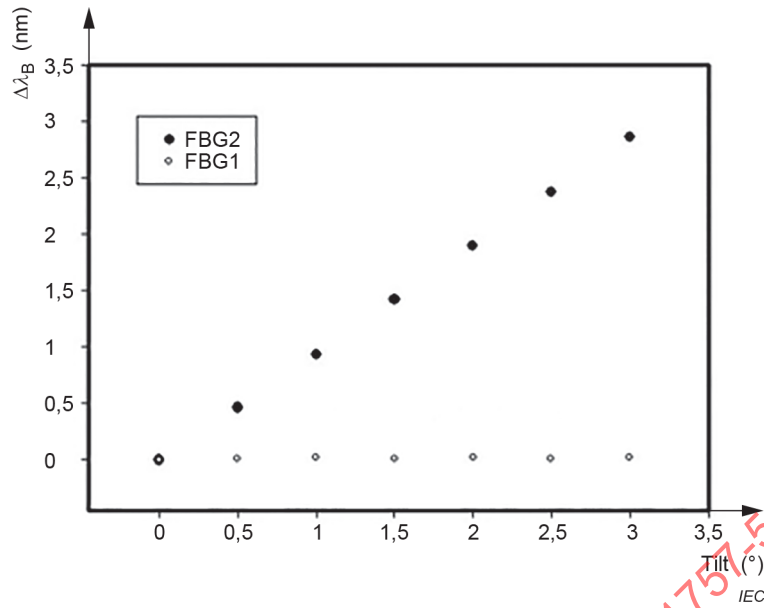


Figure 6 – Example of tilt dependence of the Bragg wavelengths of FBG1 and FBG2

6.5.3 Calibration and evaluation

The wavelength changes $\Delta\lambda_1$ and $\Delta\lambda_2$ obtained from the FBG1 and FBG2 are due to the angle change and the temperature change and thus have the following relationship:

$$\Delta\lambda_1 = a_1 \Delta\theta + b_1 \Delta T$$

$$\Delta\lambda_2 = a_2 \Delta\theta + b_2 \Delta T \quad (7)$$

Since the wavelength change of the FBG1 is independent of the change in tilt, assuming $a_1 = 0$, the tilt change can be expressed as:

$$\Delta\theta = \frac{1}{\kappa_\theta} (\Delta\lambda_2 - C \cdot \Delta\lambda_1) \quad (8)$$

where,

$\kappa_\theta = a_2$ is the gauge factor;

$C = \frac{b_2}{b_1} \left(= \frac{m_2}{m_1} \right)$ is the temperature compensation constant.

The wavelength change for the tilt change, the wavelength change for the temperature change, and the measurement procedure shall be reported.

If a tilt sensor of the metal plate type employs two FBGs, as shown in Figure 1b), it is not necessary to compensate for the temperature dependence of the Bragg wavelength, because the temperature-induced wavelength changes will be same in FBG1 and FBG2.

6.6 Gauge factor κ_θ

The gauge factor κ_θ is introduced as a linear approximate for practical use. In concrete terms, the tilt sensitivity of any tilt sensor does not need to be linear but can deviate from a linear function. For an easy statement of the tilt measurement result, the gauge factor is used under defined conditions. The use of the gauge factor has been established in past decades. Manufacturers provide it for their tilt sensor products and define for specified application conditions an uncertainty for which the gauge factor is valid. The manufacturer has to ensure the stability of the gauge factor for all specified conditions and that all specified environmental and long-term influences on the tilt sensitivity are within the uncertainty band of the gauge factor. Together with the gauge factor, the manufacturer should also provide the temperature compensation constant.

6.7 Temperature and humidity ranges

6.7.1 General

FBG-based tilt sensors have temperature and humidity limits which shall not be exceeded to ensure safe operation. One should distinguish between temperature and humidity ranges for:

- storage and transport;
- installation;
- operation.

Temperature and humidity limits are a consequence of the fact that FBG tilt sensors consist of materials that show effects of degradation due to temperature and humidity influences (Bragg gratings, polymer and other synthetic materials). Thus, FBG tilt sensors are suitable to be used only under limited environmental conditions. The individual temperature and humidity ranges are defined as follows:

- For storage and transport:
Temperature and humidity range for storage and transport is the range in which the non-applied, delivered, packed FBG tilt sensor can be stored for at least one year after delivery. In this period of time, the technical specification shall not vary.
- For installation:
Temperature and humidity range for installation is the range in which the FBG tilt sensor can be installed and the specifications according to the data sheet are maintained. Professionally performed installation is a prerequisite.
- For operation:
Temperature and humidity range for operation is the environmental range in which the FBG tilt sensor installed according to the manufacturer's instructions can operate, and its specifications stated in the data sheet are maintained for the period of operation.

6.7.2 Measuring procedure

The test to determine the temperature and humidity range for storage and transport shall be carried out in an appropriate climate chamber at the lower and upper limits of the specified ranges for a period of at least 1/10 of the designated lifetime of the sensor or an adequate ageing technique. The FBG tilt sensor shall then be tested by measuring and evaluating the FBG spectrum under load within the specified tilt range.

The test to determine the temperature and humidity range for installation shall be carried out in an appropriate climate chamber at the lower and the upper limits of the specified ranges. The FBG tilt sensor shall be installed on a test sample according to the specification, with appropriate bonding material recommended by the manufacturer, at the lower and the upper limits of the specified ranges. The FBG tilt sensor shall then be tested by measuring and evaluating the FBG spectrum under load within the specified tilt range.

The test to determine the temperature and humidity range for operation shall be carried out in an appropriate climate chamber at the lower and the upper limits of the specified ranges. The FBG tilt sensor shall be installed on a test sample with appropriate bonding material recommended by the manufacturer. The test shall be carried out for a period of 1/10 of designated lifetime for short-term use; in case of long-term sensor use, an accelerated test under elevated conditions according to IEC 61300-2 (all parts) and IEC 60068-2 (all parts) for a period of two months shall be carried out. The FBG tilt sensor shall then be tested by measuring and evaluating the FBG spectrum under load within the specified tilt range.

NOTE This is a simple proof test of the specified data by the manufacturer. This test cannot substitute specific durability tests for specific applications (e.g. long-term monitoring of a tunnel).

6.7.3 Evaluation

No particular evaluation is necessary.

6.7.4 Reporting

The determined temperature and humidity ranges and related test conditions for storage, installation, and operation shall be reported.

7 Features and characteristics to be reported

7.1 Construction details

The features to be quoted shall refer to the appropriate sensor configuration according to 5.2. The pertinent configuration shall be named.

7.2 Configuration of the FBG tilt sensor

The configuration of the FBG tilt sensor according to 5.2 shall be reported by the manufacturer. If more than one configuration is reported, features and characteristics measured according to Clause 6 shall be given for every configuration.

7.3 Temperature and humidity range

The manufacturer shall report the temperature and humidity ranges for storage, installation and operation.

7.4 Connecting requirement

It shall be indicated whether or not the sensor is supplied with an optical connector. If a connector is used, the type shall be indicated according to IEC 61754 (all parts).

8 Recommendations for use of FBG measuring instruments

In order to characterize FBG tilt sensors, measuring devices shall be employed that will determine the variation in the Bragg wavelength with sufficiently high accuracy. Demands on the accuracy of measuring devices depend on demands on the quality standard by FBG tilt sensor type. In this respect, a distinction shall be made between highly sophisticated and less sophisticated devices (e.g. based on tuneable laser and optical filter, using optical spectrum analyzer, optical wavelength and power meter). Devices shall be calibrated according to the manufacturer's instructions, to other recognized suitable calibration methods, or to appropriate calibration methods specified by IEC 62129-1, IEC 62129-2, or IEC 62129-3. The stability, linearity, sampling rate of the spectrum, and signal-to-noise ratio (SNR) of the measurement device shall be of adequate high performance.

In case of suspected polarization effects, it is recommended to verify these polarization effects by using polarization measuring equipment.

For a better assessment of applied FBG tilt sensors or any FBG tilt sensor configuration according to 5.2, an optical measurement unit should indicate or record the complete spectrum of the reflection or transmission signal. From this data, the Bragg wavelength, the reflectivity and the spectral width (see 6.2 to 6.4) can then be determined. The spectral resolution of the measurement unit is of particular significance. It is affected by the spectral width of the light source (e.g. for a laser, full width at half maximum (FWHM)) or by the spectral resolution of the monochromatic device.

In order to be able to compare measuring results of different measuring devices, information about the sampling and calculation methods used should be available.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61757-5-1:2021

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	24
INTRODUCTION.....	26
1 Domaine d'application	27
2 Références normatives	27
3 Termes et définitions	28
4 Symboles	29
5 Structure et caractéristiques	29
5.1 Réseaux de Bragg à fibres (FBG)	29
5.2 Configuration du capteur d'inclinaison à FBG	29
5.3 Longueur d'onde de référence	31
5.4 Comportement de stabilité	31
5.4.1 Dérive et fluage	31
5.4.2 Hystérésis	32
5.5 Spécimen d'essai.....	32
5.6 Indication des valeurs mesurées	32
5.7 Mesure en référence au point zéro.....	32
5.8 Mesure sans référence au point zéro	33
5.9 Jeu de production	33
5.10 Type normalisé de capteur d'inclinaison à FBG.....	33
5.11 Série de capteurs d'inclinaison à FBG.....	33
6 Caractéristiques à mesurer.....	33
6.1 Echantillonnage et évaluation statistique	33
6.1.1 Echantillonnage	33
6.1.2 Compte rendu d'un résultat de mesure	34
6.1.3 Conditionnement des échantillons	34
6.1.4 Conditions ambiantes des essais.....	34
6.1.5 Types d'essais exigés pour les caractéristiques individuelles	34
6.2 Longueur d'onde de Bragg λ_B	35
6.2.1 Généralités.....	35
6.2.2 Procédure de mesure	35
6.2.3 Evaluation	35
6.2.4 Rapport	36
6.3 Largeur spectrale d'un FBG	36
6.3.1 Procédure de mesure	36
6.3.2 Evaluation	36
6.3.3 Rapport	36
6.4 Réflectivité d'un FBG	36
6.4.1 Procédure de mesure	36
6.4.2 Evaluation	36
6.4.3 Rapport	36
6.5 Mesure de l'inclinaison.....	37
6.5.1 Montage d'essai	37
6.5.2 Procédure de mesure	37
6.5.3 Etalonnage et évaluation	39
6.6 Facteur de jauge, κ_θ	39
6.7 Plages de températures et d'humidité	40

6.7.1	Généralités	40
6.7.2	Procédure de mesure	40
6.7.3	Evaluation	41
6.7.4	Rapport	41
7	Caractéristiques à consigner	41
7.1	Détails de construction.....	41
7.2	Configuration du capteur d'inclinaison à FBG.....	41
7.3	Plages de températures et d'humidité	41
7.4	Exigences de connexion	41
8	Recommandations relatives à l'utilisation des appareils de mesure de FBG.....	41
Figure 1 – Exemples de mesure de variations d'inclinaison sur un seul axe		30
Figure 2 – Exemples de variation de la longueur d'onde de Bragg due à l'inclinaison.....		30
Figure 3 – Exemple de capteur d'inclinaison utilisant un FBG (représentation schématique)		31
Figure 4 – Représentation schématique du système de mesure d'inclinaison.....		37
Figure 5 – Exemple de dépendance à la température des longueurs d'onde de Bragg de deux FBG.....		38
Figure 6 – Exemple de dépendance à l'inclinaison des longueurs d'onde de Bragg de FBG1 et FBG2		38
Tableau 1 – Types d'essais exigés pour les caractéristiques individuelles		35

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CAPTEURS FIBRONIQUES –

Partie 5-1: Mesure d'inclinaison – Capteurs d'inclinaison basés sur des réseaux de Bragg à fibres

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. 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 du présent document 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 61757-5-1 a été établie par le sous-comité 86C: Systèmes et dispositifs actifs à fibres optiques, du Comité d'études 86 de l'IEC: Fibres optiques. Il s'agit d'une Norme internationale.

Le texte de la présente Norme internationale est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
86C/1699/CDV	86C/1718/RVc

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 la présente Norme internationale est l'anglais.

Le présent 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 à l'adresse www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/standardsdev/publications.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 61757, publiées sous le titre général *Capteurs fibroniques*, peut être consultée 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,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61757-5-1:2021

INTRODUCTION

La série IEC 61757 est publiée selon la logique suivante: les sous-parties sont numérotées sous la forme IEC 61757-M-T, où M représente la grandeur à mesurer et T la technologie.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61757-5-1:2021

CAPTEURS FIBRONIQUES –

Partie 5-1: Mesure d'inclinaison – Capteurs d'inclinaison basés sur des réseaux de Bragg à fibres

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61757 définit la terminologie, la structure, les caractéristiques et la méthode de mesure, incluant les procédures, d'un capteur d'inclinaison optique basé sur des réseaux de Bragg à fibres (FBG, *fibre Bragg gratings*) et utilisé comme élément sensible.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60050 (toutes les parties), *Vocabulaire Electrotechnique International (IEV)* (disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org>)

IEC 60068-2 (toutes les parties), *Essais d'environnement – Partie 2X: Essais*

IEC 61300-2 (toutes les parties), *Dispositifs d'interconnexion et composants passifs fibroniques – Procédures fondamentales d'essais et de mesures – Partie 2X: Essais*

IEC 61754 (toutes les parties), *Dispositifs d'interconnexion et composants passifs fibroniques – Interfaces de connecteurs fibroniques*

IEC 61757, *Capteurs à fibres optiques – Spécification générique*

IEC 61757-1-1: 2020, *Capteurs fibroniques – Partie 1-1: Mesure de déformation – Capteurs de déformation basés sur des réseaux de Bragg à fibres*

IEC 62129-1, *Etalonnage des appareils de mesure de longueur d'onde/appareil de mesure de la fréquence optique – Partie 1: Analyseurs de spectre optique*

IEC 62129-2, *Etalonnage des appareils de mesure de longueur d'onde/appareil de mesure de la fréquence optique – Partie 2: Appareils de mesure de longueur d'onde unique à interféromètre de Michelson*

IEC 62129-3, *Etalonnage des appareils de mesure de longueur d'onde/appareil de mesure de la fréquence optique – Partie 3: Fréquencemètres optiques faisant référence en interne à un peigne de fréquence*

ISO/ IEC Guide 98-3, *Incertitude de mesure – Partie 3: Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM:1995)*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'IEC 61757, l'IEC 61757-1-1, l'IEC 60050 (toutes parties), ainsi que les 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:

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

3.1

inclinaison

angle de rotation

pour un point en rotation autour d'un axe fixe, quotient de la longueur parcourue par le point, par la distance du point à l'axe, prise positivement ou négativement selon que la rotation se fait respectivement dans le sens inverse des aiguilles d'une montre ou dans le sens des aiguilles d'une montre, pour un observateur regardant dans la direction opposée à celle de l'axe

Note 1 à l'article: L'angle de rotation peut prendre toute valeur réelle, tandis que l'angle ou angle plan défini en géométrie (voir l'IEC 60050-102:2007, 102-04-14) est non négatif et limité à l'intervalle fermé $[0, \pi]$.

Note 2 à l'article: L'unité SI cohérente d'angle est le radian (symbole rad). D'autres unités dont l'usage est accepté avec le SI sont le degré (symbole °), la minute (symbole ') et la seconde (symbole ") : $1^\circ = (\pi/180)$ rad, $1' = (1/60)^\circ$, $1'' = (1/60)'$.

[SOURCE: IEC 60050-113:2011, 113-01-43, modifiée – le terme "angle orienté" a été remplacé par "inclinaison"]

3.2

capteur d'inclinaison à FBG

capteur fibronique utilisant un ou plusieurs réseaux de Bragg à fibres en tant qu'élément sensible pour les mesures d'inclinaison sur un seul axe ou sur plusieurs axes

3.3

facteur de jauge

κ_θ

rapport entre la variation relative de longueur d'onde, $\Delta\lambda/\lambda_0$, et une variation d'inclinaison, $\Delta\theta$, appliquée à un capteur d'inclinaison à FBG, exprimé par le facteur de jauge, κ_θ , en unité de 1/rad et mesuré par le fabricant, et exprimé comme:

$$\kappa_\theta = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0 \Delta\theta}$$

Note 1 à l'article: Le facteur de jauge, κ_θ , est utilisé par les fabricants pour exprimer la réponse à une inclinaison de leurs produits.

Note 2 à l'article: Par hypothèse, la caractéristique du facteur de jauge, κ_θ , pour un capteur d'inclinaison à FBG est linéaire. En considérant l'ensemble du système de mesure (capteur, dispositif, câblage), le facteur de jauge peut être défini séparément pour les composants du système de mesure. Il est valide uniquement pour des conditions définies. Dans le cas d'une caractéristique non linéaire, le facteur de jauge, κ_θ , est considéré comme linéaire avec une erreur admissible définie.

3.4

constante de compensation en température

constante destinée à corriger l'influence des variations de température lorsque l'inclinaison est obtenue à partir des variations de longueur d'onde

Note 1 à l'article: Il convient que la constante de compensation en température soit fournie par le fabricant.

4 Symboles

Pour les besoins du présent document, les symboles suivants s'appliquent:

C	constante de compensation en température
D	déplacement
$\Delta\theta$	variation d'inclinaison
ΔT	variation de température
κ_θ	facteur de jauge
L	longueur
Λ	période du FBG
λ_B	longueur d'onde de Bragg
λ_0	longueur d'onde de référence

5 Structure et caractéristiques

5.1 Réseaux de Bragg à fibres (FBG)

Les réseaux de Bragg à fibres sont des réseaux de diffraction de phase inscrits dans des guides d'ondes optiques. Ils sont fréquemment produits en utilisant un rayonnement lumineux ultraviolet (par exemple par un laser excimère à 248 nm). La fibre est exposée à un diagramme d'interférence de ce rayonnement ultraviolet (UV). Des traitements photosensibles aux UV produisent alors des variations de l'indice de réfraction du cœur de la fibre qui est sensible aux UV. Le diagramme d'interférence est une image dans le cœur de la fibre dont l'indice de réfraction varie périodiquement. Le rayonnement lumineux incident et transporté le long de la fibre est ajouté par superposition pour une certaine longueur d'onde au niveau de ces points (interférence constructive). Cette partie spectrale du rayonnement lumineux incident est réfléchi. Dans le rayonnement lumineux transmis, cette longueur d'onde (appelée longueur d'onde de Bragg, λ_B) est atténuée en fonction de la réflectivité du FBG.

La valeur de la longueur d'onde de Bragg réfléchi, λ_B , est déterminée à partir de la condition de Bragg:

$$\lambda_B = 2 \cdot n_{\text{eff}} \cdot \Lambda \quad (1)$$

D'après la Formule (1), la longueur d'onde de Bragg, λ_B , du FBG dépend de l'indice de réfraction efficace du FBG et de la période du FBG, Λ . La largeur spectrale de la valeur de crête de la longueur d'onde de Bragg est essentiellement déterminée par le nombre de périodes du réseau et par l'amplitude de la modulation d'indice de réfraction (voir l'IEC 61757-1-1:2020, 5.1).

5.2 Configuration du capteur d'inclinaison à FBG

Le capteur d'inclinaison à FBG peut être constitué de différents matériaux et peut se présenter sous différentes formes telles qu'un segment de fibre optique avec un ou plusieurs capteurs à FBG (appelé "fibre à réseau de Bragg" dans la suite du présent document). Le capteur d'inclinaison à FBG est capable de mesurer l'inclinaison absolue et relative, mais il est davantage adapté pour surveiller l'inclinaison en utilisant des variations d'inclinaison relative. L'axe de référence pour les mesures d'inclinaison absolue est l'axe vertical.

Si le capteur à FBG est incliné de manière à faire varier la force de traction qui lui est appliquée, l'inclinaison peut être déterminée en mesurant la longueur d'onde de Bragg réfléchie du FBG (voir Figure 1 a) et Figure 1 b)). Dans l'exemple de la Figure 1 a), la variation d'inclinaison entraîne une variation de couple due au repositionnement du poids, qui engendre à son tour une variation de la force de traction appliquée au FBG et, par conséquent, une variation de la longueur d'onde réfléchie du FBG (voir Figure 2 a), Figure 2 b) et Figure 2 c)). La méthode utilisée pour convertir une variation d'inclinaison en variation de longueur d'onde de Bragg n'est pas traitée dans le présent document et peut varier en fonction du fabricant.

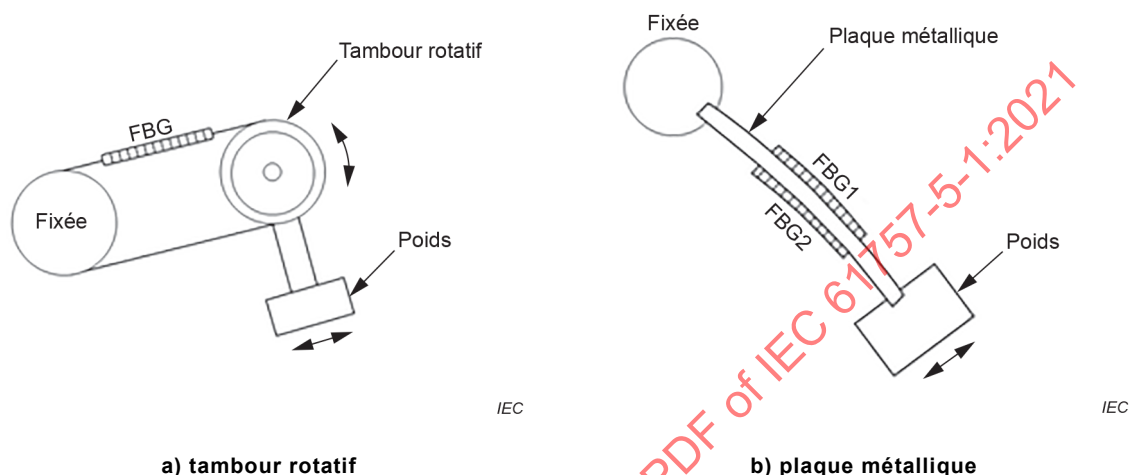


Figure 1 – Exemples de mesure de variations d'inclinaison sur un seul axe

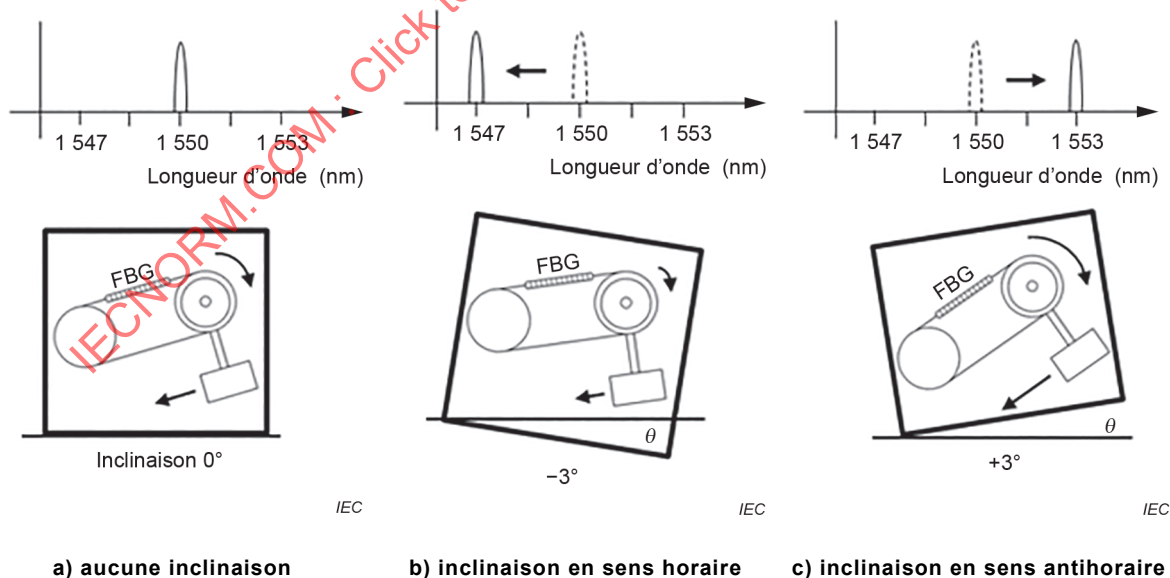


Figure 2 – Exemples de variation de la longueur d'onde de Bragg due à l'inclinaison

Une source à large bande et un spectromètre sont reliés au FBG de détection d'inclinaison via un circulateur comme représenté à la Figure 3. Un FBG supplémentaire (FBG1), placé à proximité immédiate du FBG de détection d'inclinaison (FBG2), assure la compensation en température pendant que le FBG2 effectue des mesures d'inclinaison. FBG1 et FBG2 peuvent être raccordés en parallèle ou en série comme représenté à la Figure 3.

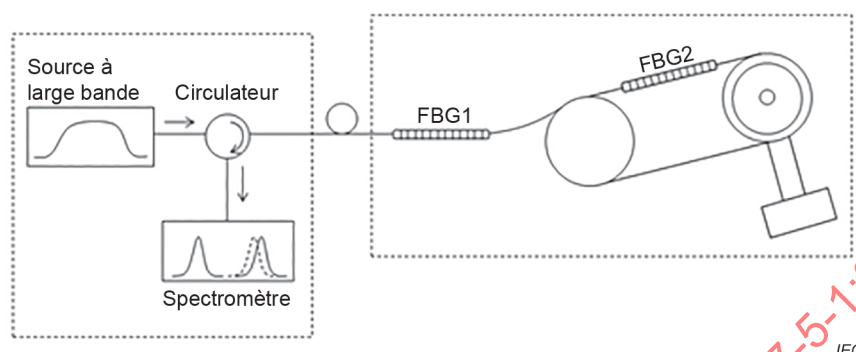


Figure 3 – Exemple de capteur d'inclinaison utilisant un FBG (représentation schématique)

5.3 Longueur d'onde de référence

Différentes méthodes d'évaluation et différents dispositifs donnent différentes longueurs d'onde de Bragg mesurées pour la même fonction de filtrage du FBG. Par conséquent, dans le contexte du présent document, le résultat de la mesure de longueur d'onde, après l'installation du capteur d'inclinaison à FBG avec le dispositif spécifié, est appelé "longueur d'onde de référence", λ_0 .

La longueur d'onde de référence n'a pas nécessairement la même valeur que la longueur d'onde de Bragg spécifiée par le fabricant du FBG. Si le FBG est, par exemple, initialement déformé, il existe une différence entre la longueur d'onde de référence et la longueur d'onde de Bragg. Si le FBG n'est pas initialement déformé, la différence entre la longueur d'onde de référence et la longueur d'onde de Bragg est généralement très faible, de sorte que les deux valeurs de longueur d'onde peuvent être utilisées sans introduire d'erreur significative.

Si la longueur d'onde de référence est mesurée au lancement du cycle de mesure, cette mesure de longueur d'onde peut être considérée comme la valeur de mesure au point zéro.

5.4 Comportement de stabilité

5.4.1 Dérive et fluage

En général, la stabilité est l'aptitude d'un système de mesure à conserver ses caractéristiques métrologiques et à satisfaire aux autres spécifications sur la durée de fonctionnement prévue. La stabilité, dans le contexte du présent document, décrit la propriété du capteur d'inclinaison à FBG appliqué à maintenir constantes ses caractéristiques optiques sur une durée d'utilisation déterminée par les objectifs, ou à présenter un petit écart admissible.

Des variations de la valeur mesurée sont susceptibles d'apparaître:

- lorsque les matériaux concernés sont soumis à des contraintes à long terme (fluage);
- sans contrainte de charge (dérive du point zéro).

Ce comportement peut être causé par le développement lent d'une dégradation chimique ou physique à l'intérieur des matériaux utilisés (par exemple le vieillissement), ou par une modification des conditions physiques initiales (par exemple la température ou l'humidité).

Le fluage est une grandeur qui dépend des matériaux utilisés, du montage du capteur et du type de fonctionnement. Il ne peut être déterminé que par voie expérimentale. Les expériences actuelles montrent que les erreurs dues au fluage ne contribuent pas à l'incertitude de mesure donnée pour le facteur de jauge, κ_0 , lorsque le matériau de liaison spécifié par le fabricant est utilisé.

La dérive est une variation lente des caractéristiques métrologiques du système de mesure. L'erreur de dérive d'un capteur à FBG est négligeable dans l'état actuel de la technique. Par conséquent, dans le cadre du présent document, aucune autre spécification n'est exigée. Cependant, si des dérives apparaissent en raison de la modification d'un processus de production, par exemple, ou de l'application d'un matériau de revêtement inadapté, il convient d'indiquer la dérive.

5.4.2 Hystérésis

En science des matériaux, l'hystérésis décrit un comportement particulier des matériaux dans lequel un matériau ne revient pas à son état initial, ou revient à son état initial après un certain laps de temps une fois que la charge d'entrée a été retirée. Cela signifie que la valeur de sortie pour un comportement de déformation élastoplastique ne dépend pas seulement de la valeur d'entrée, mais aussi de processus qui dépendent de la vitesse.

Lorsque l'inclinaison (ou la température) d'un FBG à base de silice varie, la longueur d'onde de Bragg subit généralement un décalage sans présenter d'effet d'hystérésis. Si l'hystérésis apparaît pour des conditions répétées ou cycliques dans les limites de la plage de fonctionnement spécifiée du capteur, il convient de décrire la quantité d'hystérésis.

5.5 Spécimen d'essai

Les spécimens d'essai sont des plaques ou d'autres objets sur lesquels les capteurs d'inclinaison à FBG sont installés afin de déterminer et de vérifier leurs propriétés. Le concept de "spécimen d'essai normalisé" est utilisé en association avec l'étalonnage et les essais. Le concept d'objet à mesurer est utilisé pour la description générale des procédures de mesure.

5.6 Indication des valeurs mesurées

Les variations de la longueur d'onde de Bragg induites dans le FBG sont analysées par un dispositif de mesure connecté (valeurs mesurées) et traitées pour être utilisées en métrologie (résultat de la mesure). Habituellement, le dispositif de mesure délivre le signal optique d'entrée au capteur et enregistre également le signal de réponse du capteur.

5.7 Mesure en référence au point zéro

Les concepts de "mesure par rapport au point zéro" et de "mesure statique ou quasi statique" représentent, respectivement, toutes les mesures où la valeur mesurée se rapporte à une valeur initiale (le point zéro).

Les facteurs d'influence suivants doivent également être considérés:

- la dérive de l'appareil de mesure;
- la méthode d'évaluation:
différentes méthodes d'évaluation (utilisant différents dispositifs de mesure) peuvent donner différents décalages par rapport au point zéro. En cas de remplacement du dispositif de mesure, il convient de déterminer le décalage par rapport au point zéro entre l'ancien et le nouvel appareil;
- le fluage du capteur appliqué.

La procédure d'analyse des capteurs d'inclinaison à FBG doit être exécutée de manière neutre, de sorte que les caractéristiques des fils de connexion et des connecteurs optiques ou des épissures n'affectent pas le point zéro. Il est toutefois recommandé de procéder à une vérification occasionnelle du point zéro.

5.8 Mesure sans référence au point zéro

Pour les mesures dynamiques périodiques ou sans référence au point zéro, les valeurs mesurées ne font pas référence à une valeur initiale fixe. Cela s'applique uniquement aux mesures d'amplitude d'une oscillation périodique.

5.9 Jeu de production

Un jeu de FBG est un lot de FBG produits selon le même processus de fabrication.

5.10 Type normalisé de capteur d'inclinaison à FBG

Un type normalisé de capteur d'inclinaison à FBG est un lot de capteurs d'inclinaison à FBG dont les propriétés physiques sont identiques (dimensions géométriques, processus de fabrication, matériaux utilisés, post-traitement, longueur d'onde de Bragg).

5.11 Série de capteurs d'inclinaison à FBG

Une série est un lot de capteurs d'inclinaison à FBG pour lesquels les matériaux utilisés et les processus de fabrication sont identiques, mais dont la longueur d'onde de Bragg ou les dimensions peuvent être différentes.

6 Caractéristiques à mesurer

6.1 Echantillonnage et évaluation statistique

6.1.1 Echantillonnage

6.1.1.1 Généralités

Les méthodes d'échantillonnage suivantes doivent être utilisées en fonction de la portée souhaitée des essais:

- échantillonnage aléatoire,
- essais de type,
- essais de série,
- essais sur des échantillons individuels.

De nombreuses propriétés des capteurs d'inclinaison à FBG ne peuvent être déterminées que sur un capteur installé. Dans ce cas, une évaluation statistique doit être effectuée. Il convient de consigner le nombre d'échantillons de capteurs, ainsi que la date de l'évaluation.

6.1.1.2 Echantillonnage aléatoire

Les exigences relatives à l'échantillonnage aléatoire prennent pour hypothèse que les variations du paramètre de caractéristique suivent une distribution gaussienne. Tous les capteurs choisis pour les essais des caractéristiques doivent appartenir au même jeu de production. Au moins cinq échantillons doivent être choisis. Le résultat d'un essai par échantillonnage aléatoire est valide pour un jeu de production.

6.1.1.3 Essais de type

L'essai de type est un essai par échantillonnage aléatoire décrit en 6.1.2 dans lequel le résultat des essais réalisés sur au moins cinq spécimens de ce type est déclaré valide pour tous les jeux de production.

6.1.1.4 Essais de série

Un essai de série est un essai par échantillonnage aléatoire décrit en 6.1.2 dans lequel le résultat est déterminé pour un seul spécimen dans une série de capteurs et déclaré valide pour la série entière.

6.1.1.5 Compte rendu d'un résultat de mesure

Chaque spécimen d'une série de capteurs ou un prototype d'un seul capteur d'inclinaison à FBG doit être soumis aux essais.

6.1.2 Compte rendu d'un résultat de mesure

Les résultats des essais de série, des essais de type et des essais par échantillonnage aléatoire sont exprimés comme la moyenne arithmétique avec l'écart-type correspondant. La forme de la déclaration de l'écart-type doit être spécifiée. L'estimation de l'incertitude de mesure doit être établie conformément à l'ISO/IEC GUIDE 98-3.

Si ces capteurs X_1 à X_n sont soumis aux essais, alors la caractéristique est donnée comme la valeur moyenne, $\bar{x}$, des n valeurs x_1 à x_n mesurées avec les capteurs.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

L'écart-type des n valeurs mesurées est donné par:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

6.1.3 Conditionnement des échantillons

Les capteurs choisis pour les essais doivent être placés dans l'environnement dans lequel l'essai doit être effectué afin d'atteindre l'équilibre dans les conditions de cet environnement. Il convient d'exposer les capteurs pendant au moins 2 h dans un tel environnement.

6.1.4 Conditions ambiantes des essais

Tous les essais doivent être effectués dans des conditions de température et d'humidité relative spécifiées; les valeurs des paramètres et leur tolérance doivent être consignées. La température ambiante recommandée est de 15 °C à 35 °C, l'humidité recommandée est de 25 % HR à 75 % HR et la pression atmosphérique recommandée est de 86 kPa à 106 kPa.

6.1.5 Types d'essais exigés pour les caractéristiques individuelles

Les types d'essais exigés pour les caractéristiques individuelles sont donnés dans le Tableau 1.