

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Fibre optic sensors –

Part 6-1: Displacement measurement – Displacement sensors based on fibre Bragg gratings

Capteurs fibroniques –

Partie 6-1: Mesure de déplacement – Capteurs de déplacement basés sur des réseaux de Bragg sur fibre

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61757-6-1:2024



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2024 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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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, graphical symbols and the glossary. 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 22 500 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 25 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, symboles graphiques et le glossaire. 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 22 500 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 25 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Fibre optic sensors –

Part 6-1: Displacement measurement – Displacement sensors based on fibre Bragg gratings

Capteurs fibroniques –

Partie 6-1: Mesure de déplacement – Capteurs de déplacement basés sur des réseaux de Bragg sur fibre

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 33.180.99

ISBN 978-2-8322-8134-5

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, definitions, symbols and abbreviated terms.....	8
3.1 Terms and definitions.....	8
3.2 Symbols.....	9
3.3 Abbreviated terms.....	9
4 Structure and characteristics	9
4.1 Fibre Bragg grating (FBG).....	9
4.2 FBG displacement sensor configuration	10
4.3 Reference wavelength	12
4.4 Stability behaviour	13
4.4.1 Drift and creep.....	13
4.4.2 Hysteresis	13
4.5 Indication of the measured values.....	13
4.6 Zero-point related measurement	14
4.7 Non-zero-point related measurement	14
4.8 Production set.....	14
4.9 FBG displacement sensor standard type.....	14
4.10 FBG displacement sensor series.....	14
5 Features and characteristics to be measured.....	14
5.1 Sampling and statistical evaluation	14
5.1.1 Sampling	14
5.1.2 Reporting the measuring result.....	15
5.1.3 Sample conditioning	15
5.1.4 Ambient test conditions.....	16
5.1.5 Required types of tests for individual characteristics.....	16
5.2 Bragg wavelength λ_B	16
5.2.1 General	16
5.2.2 Measurement procedure	16
5.2.3 Evaluation	16
5.2.4 Reporting.....	17
5.3 FBG spectral width.....	17
5.3.1 Measurement procedure	17
5.3.2 Evaluation	17
5.3.3 Reporting.....	17
5.4 FBG reflectivity	17
5.4.1 Measurement procedure	17
5.4.2 Evaluation	17
5.4.3 Reporting.....	18
5.5 Displacement measurement.....	18
5.5.1 General	18
5.5.2 Test setup	18
5.5.3 Measurement procedure	19
5.5.4 Calibration and evaluation	20

5.6	Displacement conversion factor	21
5.7	Temperature and humidity ranges	21
5.7.1	General	21
5.7.2	Measurement procedure	22
5.7.3	Evaluation	22
5.7.4	Reporting	22
5.8	Durability	22
5.8.1	General	22
5.8.2	Measurement procedure	22
5.8.3	Reporting	22
6	Features and characteristics to be reported	23
6.1	Construction details	23
6.2	Configuration of the FBG displacement sensor	23
6.3	Temperature and humidity range	23
6.4	Connecting requirement	23
7	Recommendations for use of FBG measuring instruments	23
Figure 1	– Examples of sensor types for measuring displacement changes	10
Figure 2	– Bragg wavelength change caused by displacement in a spring-type sensor	11
Figure 3	– Bragg wavelength changes caused by displacement in a metal-plate-type sensor	11
Figure 4	– Schematic diagrams of displacement sensors using two FBGs	12
Figure 5	– Schematic diagram of a displacement measurement test setup	18
Figure 6	– Example of temperature dependence of the Bragg wavelengths of two FBGs	19
Figure 7	– Example of displacement dependence of the Bragg wavelengths of FBG1 and FBG2	20
Table 1	– Required types of tests for individual characteristics	16

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

FIBRE OPTIC SENSORS –

**Part 6-1: Displacement measurement –
Displacement 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) IEC draws attention to the possibility that the implementation of this document may involve the use of (a) patent(s). IEC takes no position concerning the evidence, validity or applicability of any claimed patent rights in respect thereof. As of the date of publication of this document, IEC had not received notice of (a) patent(s), which may be required to implement this document. However, implementers are cautioned that this may not represent the latest information, which may be obtained from the patent database available at <https://patents.iec.ch>. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

IEC 61757-6-1 has been prepared by subcommittee 86C: Fibre optic systems and active devices, of IEC technical committee 86: Fibre optics. It is an International Standard.

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

Draft	Report on voting
86C/1874/CDV	86C/1891/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/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, or
- revised.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61757-6-1:2024

INTRODUCTION

This document is part of the IEC 61757 series, which is dedicated to fibre optic sensors. Generic specifications for fibre optic sensors are defined in IEC 61757.

The individual parts of the IEC 61757 series are numbered as IEC 61757-*M-T*, where *M* denotes the measure and *T* the technology. The IEC 61757-6-*T* series is concerned with displacement measurements.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61757-6-1:2024

FIBRE OPTIC SENSORS –

Part 6-1: Displacement measurement – Displacement sensors based on fibre Bragg gratings

1 Scope

This part of IEC 61757 defines the terminology, structure, and measurement methods of optical displacement sensors based on fibre Bragg gratings (FBGs) as the sensing element. This document also specifies the most important features and characteristics of these fibre optic displacement sensors and defines procedures for measuring these features and characteristics.

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

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

3.1 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 61757, IEC 61757-1-1 and the following 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 displacement

D

distance change between two given points

Note 1 to entry: A displacement is designated as an absolute displacement if only one of the two given points changes its position.

Note 2 to entry: A displacement is designated as a relative displacement if both of the two given points change their position.

3.1.2 FBG displacement sensor

fibre optic sensor that uses one or more fibre Bragg gratings as a sensing element for displacement measurements

3.1.3 displacement conversion factor

κ_D

ratio of the relative change in wavelength $\Delta\lambda / \lambda_0$ to a displacement change ΔD introduced to an FBG displacement sensor

Note 1 to entry: The displacement conversion factor κ_D is calculated as

$$\kappa_D = \frac{\left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \right)}{\Delta D}$$

Note 2 to entry: The displacement conversion factor κ_D is used by manufacturers to characterize the displacement response of their products.

Note 3 to entry: The conversion factor κ_D for an FBG displacement sensor assumes a linear relation between wavelength change and displacement. Considering the whole measurement system (sensor, device, and 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 relation between wavelength change and displacement is considered to be linear within a defined permissible measurement error.

Note 4 to entry: The term displacement sensitivity, expressed for example in pm/mm, is used by some manufacturers to characterize the displacement response of their products.

3.1.4 temperature compensation constant

C

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

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

Note 2 to entry: The term temperature sensitivity, expressed for example in (pm/°C), is used by some manufacturers to characterize the influence of temperature changes of their products.

3.2 Symbols

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

R_{FBG}	reflectivity of the FBG
n_{eff}	effective refractive index of the FBG
ΔD	displacement change
ΔT	temperature change
Λ	FBG period
λ_{B}	Bragg wavelength
λ_0	reference wavelength

3.3 Abbreviated terms

FBG	fibre Bragg grating
FWHM	full width at half maximum
SNR	signal-to-noise ratio
UV	ultraviolet

4 Structure and characteristics

4.1 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. from 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 this UV light. The interference pattern is imaged onto the fibre core to permanently change the refractive index of the fibre core, so that the refractive index varies periodically along the fibre. Incident and transported light is reflected by these periodic refractive index changes along the fibre. At a certain wavelength, the reflected light is additively superimposed (constructive interference); this spectral part of the incident light is reflected back to the input port of the fibre. In the transmitted light, this wavelength (denoted Bragg wavelength λ_{B}) is attenuated accordingly, due to the FBG reflectivity.

The value of the reflected Bragg wavelength λ_{B} is determined by the Bragg condition shown in Formula (1).

$$\lambda_{\text{B}} = 2n_{\text{eff}} \Lambda \quad (1)$$

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

4.2 FBG displacement sensor configuration

The FBG displacement sensor can be fabricated from various materials and in various forms (using one or more FBGs as sensing elements). The FBG displacement sensor is typically used to monitor the displacement occurring between two points of different objects, or between two parts of the same object. One example is monitoring of displacement changes at expansion joints that are installed in bridges to prevent damage to the structure; these joints contract and expand due to temperature changes. Another example of detecting displacement changes is monitoring of crack size changes in structures where cracks have occurred.

The method used to convert a displacement change into a change of the Bragg wavelength of an FBG depends on the manufacturer of the displacement sensor. There are a variety of methods, but a comprehensive description of these methods is outside the scope of this document.

As an example, the FBG displacement sensor can be configured so that the movement of a stylus (which is the displacement sensing part) by means of a mechanical transducer causes a corresponding strain change in the FBG, as shown in Figure 1 for a spring-type sensor and for a metal-plate-type sensor. This strain change in the FBG then changes the reflected Bragg wavelength of the FBG, as shown in Figure 2 and Figure 3. Hence, the displacement can be determined by measuring the reflected Bragg wavelength of the FBG.

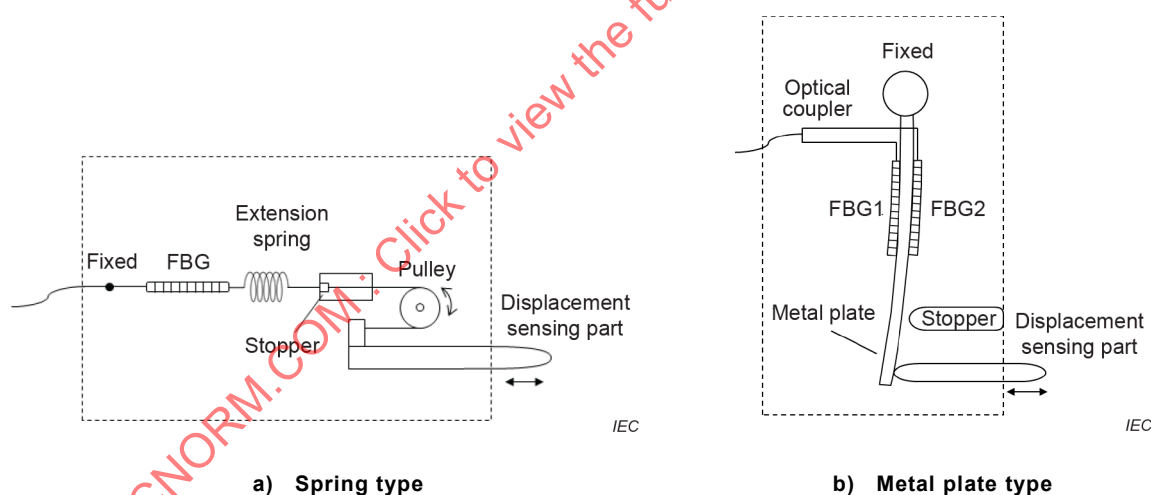


Figure 1 – Examples of sensor types for measuring displacement changes

In the spring-type sensor shown in Figure 1 a), a displacement change causes a pulley to rotate, which changes the length of a tensile spring that is attached to an FBG. The resulting change in the tensile force applied to the FBG causes a strain change in the FBG, which in turn changes the reflective wavelength of the FBG, as illustrated in Figure 2 a) and Figure 2 b). When installing the FBG displacement sensor shown in Figure 2 a), the stopper is often placed near the centre of the expected displacement changes, so that positive as well as negative displacement changes can be detected. If displacement changes are expected to occur in only one direction, a larger change in displacement can be measured by placing the stopper more towards the left or right side.

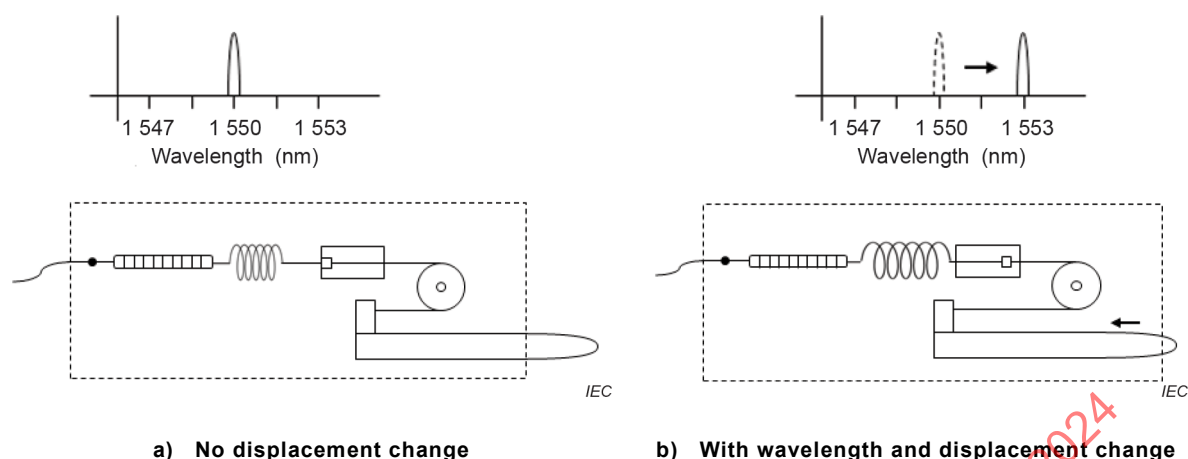


Figure 2 – Bragg wavelength change caused by displacement in a spring-type sensor

In the metal-plate-type sensor shown in Figure 1 b), a change in displacement causes an elastic metal plate to bend. The change in the shape of the metal plate is detected by two FBGs, denoted FBG1 and FBG2, which are attached to both sides of the metal plate, as shown in Figure 3 a). When the displacement-measuring stylus moves from its original position to the left direction, the elastic metal plate bends further to the left, which causes a contraction of FBG1 and an expansion of FBG2. Since the contraction of FBG1 results in increased stress and the expansion of FBG2 in increased strain, the displacement changes the reflective Bragg wavelengths of the two FBGs in opposite directions, as shown in Figure 3 b).

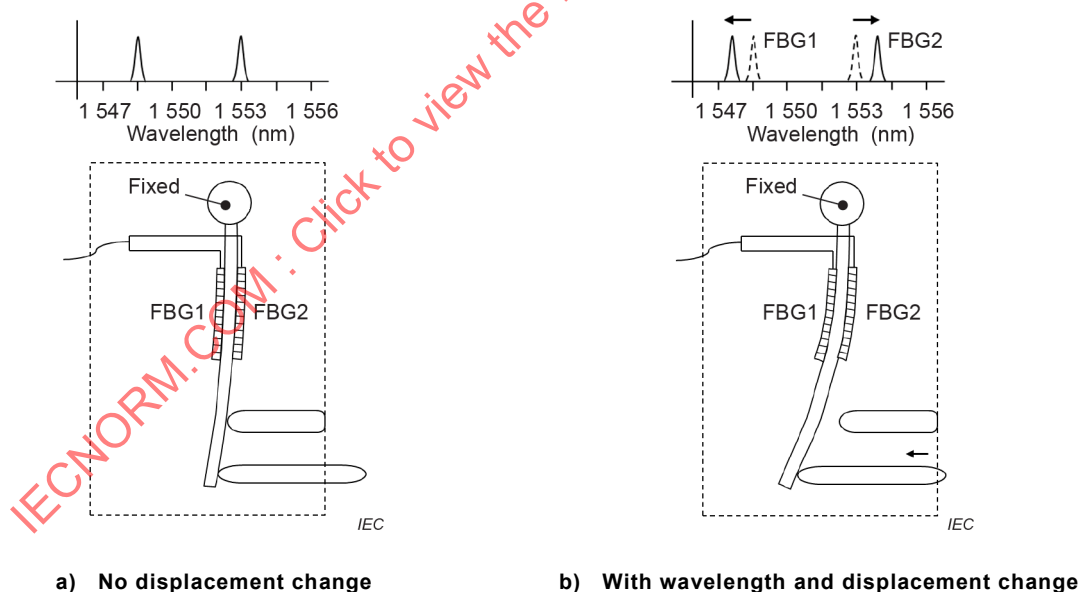


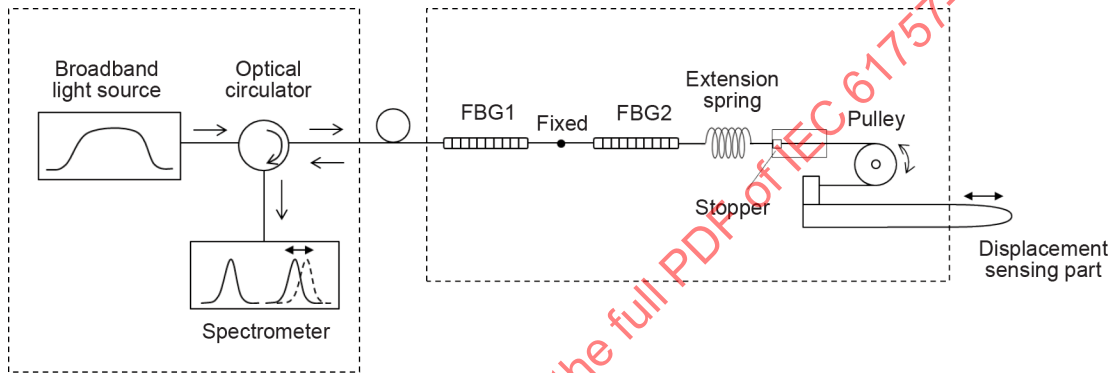
Figure 3 – Bragg wavelength changes caused by displacement in a metal-plate-type sensor

A broadband light source and an optical spectrometer can be used to measure the change in the Bragg wavelength of an FBG. The light source and the spectrometer are typically connected to the displacement sensing FBG via an optical circulator, as shown schematically in Figure 4 for the spring-type and the metal-plate-type sensors.

In the spring-type sensor shown in Figure 4 a), an additional FBG (denoted FBG1) is inserted near the displacement sensing FBG (denoted FBG2) to allow for compensation of the temperature dependence of FBG2 (as described in 5.5.3). The additional FBG1 measures only temperature changes, whereas FBG2 measures displacement and temperature changes. FBG1 and FBG2 can be connected in series, as shown in Figure 4 a), or in parallel, like in the arrangement shown in Figure 4 b).

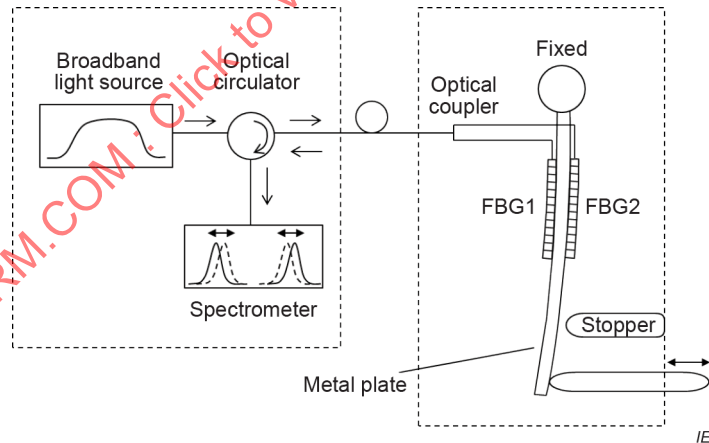
The metal-plate-type sensor shown in Figure 4 b) employs two FBGs for the displacement measurement. An additional FBG for temperature measurement is not necessary in this arrangement, because the displacement change is calculated from the differential change in the reflected wavelengths of FBG1 and FBG2. If the Bragg wavelength variations due to temperature changes are identical in both FBGs, the temperature dependence of the Bragg wavelength is automatically compensated.

The metal-plate-type sensor of Figure 4 b) uses an optical coupler with 3 dB splitting ratio to connect FBG1 and FBG2 to the broadband light source and spectrometer.



IEC

a) Spring type with additional FBG for temperature measurement



IEC

b) Metal plate type using two FBGs for displacement measurement

Figure 4 – Schematic diagrams of displacement sensors using two FBGs

4.3 Reference wavelength

The Bragg wavelength measured with a given FBG can depend on the evaluation method used and, more importantly, on the specific installation of the FBG. In the context of this document, the wavelength measured after installation of the FBG in the displacement sensor is 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 pre-strained, for example, there is a difference between the reference wavelength and the manufacturer's Bragg wavelength. If the FBG is not pre-strained, the difference between the reference wavelength and the manufacturer's Bragg wavelength is usually very small, so that both wavelength values can be used interchangeably without significant error.

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

4.4 Stability behaviour

4.4.1 Drift and creep

Stability, in general, is the ability of a measurement system to maintain its metrological characteristics and to meet other specifications over the intended time of operation. In the context of this document, stability describes the property of the applied FBG displacement sensor to maintain its optical characteristics over the time period of use, which is determined by the application, or to show only small permissible deviations.

Variations in the measured value can occur when:

- the materials concerned are subject to long-term stress (creep),
- no loading stress is applied (zero-point drift).

Creep and zero-point drift can result from slowly progressing chemical or physical degradation of the materials used in the sensor (e.g. from ageing), or from changes of the initial environmental conditions (e.g. either temperature or humidity, or both).

Creep is a quantity that depends on the materials used in the sensor, the set-up of the sensor, and the type of operation. It can only be determined experimentally. Provided that the bonding material prescribed by the manufacturer is used, the measurement errors resulting from creep are usually insignificant compared to the measurement uncertainty of the displacement conversion factor κ_D .

Drift is a slow change of the metrological characteristics of the measurement system. For state-of-the-art FBG sensors, the measurement error resulting from drift is negligibly small. In this case, no further specification of drift is required. However, if drifts are generated in a modified production process, for example, or by applying inadequate recoating materials, the drift should be stated.

4.4.2 Hysteresis

Hysteresis describes a particular material behaviour, whereby the material does not return to its original state, or does so with a significant time delay, after the input load has been removed. This means that the output value of a sensor with elasto-plastic deformation behaviour does not only depend on the input value but also on rate-dependent processes.

When the displacement (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 displacement variations within the specified operation range of the sensor, the amount of hysteresis should be described.

4.5 Indication of the measured values

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

4.6 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 displacement 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.

4.7 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, for example, to the amplitude measurement of a periodic oscillation.

4.8 Production set

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

4.9 FBG displacement sensor standard type

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

4.10 FBG displacement sensor series

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

5 Features and characteristics to be measured

5.1 Sampling and statistical evaluation

5.1.1 Sampling

5.1.1.1 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 displacement sensor properties can only be determined on an installed sensor. A statistical evaluation shall be performed in this case. The number of sample sensors and the date of evaluation should be noted.

5.1.1.2 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.

5.1.1.3 Type testing

The type test is a random sampling test as described in 5.1.1.2, whereby the result of testing of at least five specimens of this type is declared valid for all production sets.

5.1.1.4 Series testing

The series test is a random sampling test as described in 5.1.1.2, whereby the result is determined for a single specimen out of a sensor series and declared valid for the whole series.

5.1.1.5 Individual sample testing

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

5.1.2 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, as shown in Formula (2).

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

The standard deviation of the n measured values is given by Formula (3).

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

5.1.3 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 an environment should be adopted.

5.1.4 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.

5.1.5 Required types of tests for individual characteristics

The required types of tests for individual characteristics are specified in Table 1.

Table 1 – Required types of tests for individual characteristics

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

5.2 Bragg wavelength λ_B

5.2.1 General

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

- 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;
- first poles (minima) at the peak of the reflected Bragg wavelength (denoted Λ_{+0} and Λ_{-0}).

5.2.2 Measurement procedure

For FBGs with relatively low reflectivity ($R_{\text{FBG}} < 50\%$), the Bragg wavelength shall be measured in reflection. For FBGs with 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 (R_{FBG} between 50 % and 90 %), either configuration can be used.

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

5.2.3 Evaluation

No evaluation is necessary for the Bragg wavelength measurement.

5.2.4 Reporting

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

5.3 FBG spectral width

5.3.1 Measurement procedure

The FBG spectrum of the FBG displacement sensor shall be measured with a spectral resolution that is less than one-tenth of the measurement uncertainty of the wavelength to be measured.

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 displacement, and continuous oscillation behaviour.

5.3.2 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 points 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 technique.

5.3.3 Reporting

The typical spectral width shall be reported. On customer request, the FBG spectrum shall also be reported.

5.4 FBG reflectivity

5.4.1 Measurement procedure

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

5.4.2 Evaluation

The measured FBG spectrum shall be evaluated according to the definition given in IEC 61757-1-1:2020, 3.5, and the measurement procedure described in IEC 61757-1-1:2020, 7.4, as shown in Formulae (4) and (5).

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

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

where

R_{FBG} is the reflectivity of the FBG;

P_0 is the incident optical power;

P_{λ_B} is the optical power reflected from the FBG.

5.4.3 Reporting

The typical reflectivity shall be reported. On customer request, the FBG spectrum shall also be reported.

5.5 Displacement measurement

5.5.1 General

Different setups can be used according to the construction and working principle of the displacement sensor. A displacement sensor with pushing stylus is a common construction and is used as an example in 5.5.2, 5.5.3 and 5.5.4.

5.5.2 Test setup

Place the displacement sensor on the test bed, as illustrated in Figure 5 a), and fix the sensor so that its body does not move. All components on the test bed shall be aligned axially with sufficient precision to avoid measurement errors, for example, due to tilting. Move the head of the linear positioning unit by adjusting the knob to push the displacement sensing part to the maximum displacement range at a certain interval, as illustrated in Figure 5 b). The position of the stylus head shall be measured with a suitable and calibrated measuring instrument. Suitable measuring instruments are, for example, optical or inductive linear displacement transducers, linear screw gauges, or metal rulers. In the case of structurally pulling type sensors (not shown in Figure 5), connect the head and displacement sensing part firmly to each other, and then adjust the knob to pull the displacement sensing part at a certain interval. An optical fibre is used to connect FBG1 and FBG2 of the displacement sensor to the interrogator for temperature measurement and displacement measurement.

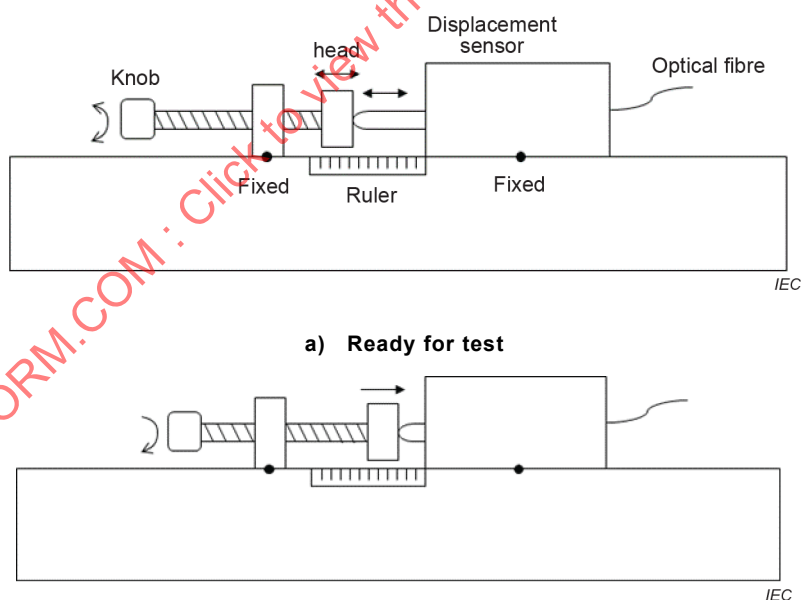
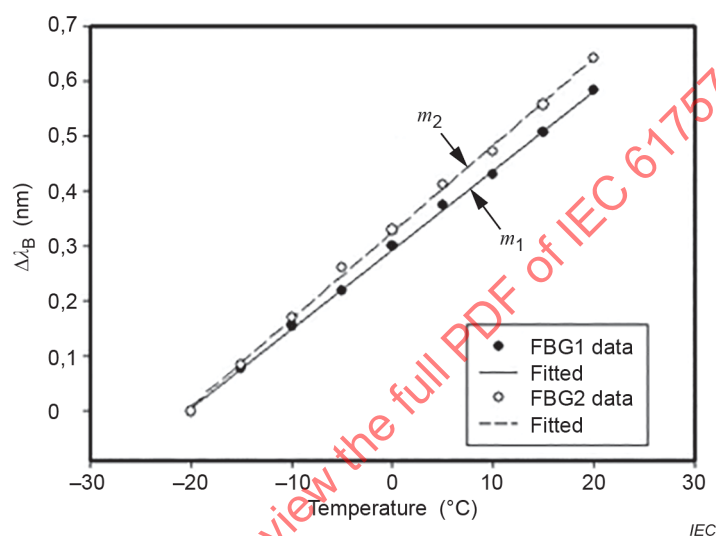


Figure 5 – Schematic diagram of a displacement measurement test setup

5.5.3 Measurement procedure

To compensate for the temperature dependence of the Bragg wavelength of the displacement sensor, an additional temperature-measuring FBG (FBG1) is placed close to the displacement-measuring FBG (FBG2) in the displacement sensor assembly (see Figure 4 a)). 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 6, without changing the displacement 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 the temperature compensation constant, which varies from sample to sample. The smallest measurement error is usually obtained when C is close to 1. For best measurement accuracy, the test setup should not be exposed to vibrations during the measurement. The measurement temperature range can vary depending on the type of FBG displacement sensor and according to the use environment.



Key

m_1 Slope of the temperature dependence of the Bragg wavelength of FBG1

m_2 Slope of the temperature dependence of the Bragg wavelength of FBG2

Figure 6 – Example of temperature dependence of the Bragg wavelengths of two FBGs

After the temperature compensation constant C is obtained, the displacement sensor is removed from the environmental chamber to perform the displacement test (see Figure 5). After recording the initial values of the Bragg wavelengths for FBG1 and FBG2, turn the adjustment knob to increase the displacement by a relatively small amount and record the reflected Bragg wavelengths of FBG1 and FBG2 at the new position. Repeat these measurements at other displacement values and increase the displacement up to the maximal value specified for the sensor. These measurements establish a relationship between displacement and wavelength change, as shown in the example of Figure 7. It is recommended to repeat these measurements three or more times to obtain accurate average values for the whole range of displacement. The displacement tests shall be conducted in a steady temperature and humidity environment. For a given maximal wavelength change (e.g. 3 nm), the measurement resolution is determined by the elasticity of the spring in Figure 1 a) or the length of the metal plate in Figure 1 b). That is, when the total displacement range increases, the resolution decreases, and when the total displacement range decreases, the resolution increases.

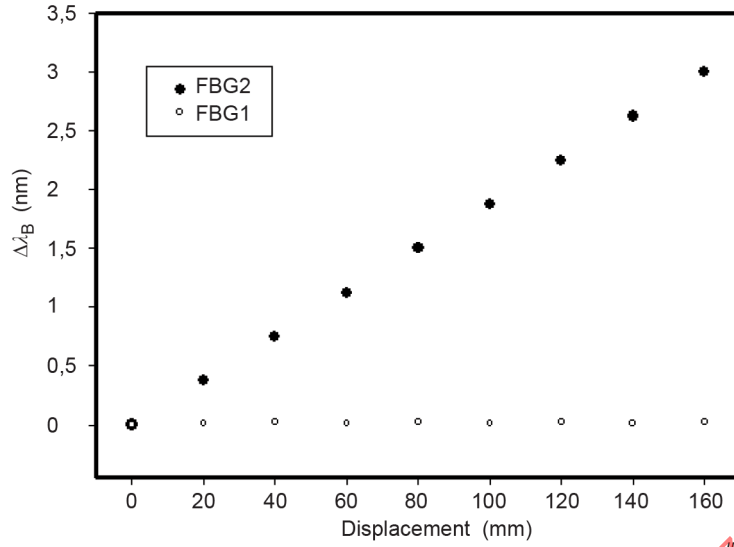


Figure 7 – Example of displacement dependence of the Bragg wavelengths of FBG1 and FBG2

5.5.4 Calibration and evaluation

The wavelength change measured in FBG2, $\Delta\lambda_2$, can be caused by a combination of a displacement change and a temperature change, whereas the wavelength change measured in FBG1, $\Delta\lambda_1$, can be caused only by a temperature change, because it is not affected by a displacement change. The wavelength changes in FBG1 and FBG2 can thus be approximated by the two linear relationships shown in Formula (6).

$$\begin{aligned}\Delta\lambda_1 &= b_1 \Delta T \\ \Delta\lambda_2 &= a_2 \Delta D + b_2 \Delta T\end{aligned}\quad (6)$$

where

a_2 is a coefficient that relates $\Delta\lambda_2$ in FBG2 to the displacement ΔD ;

b_1 is a coefficient that relates $\Delta\lambda_1$ in FBG1 to the temperature change ΔT ;

b_2 is a coefficient that relates $\Delta\lambda_2$ in FBG2 to the temperature change ΔT .

Using Formula (6), the displacement change can be expressed as shown in Formula (7).

$$\Delta D = \frac{1}{\kappa_D} \times \frac{\Delta\lambda_2 - C \Delta\lambda_1}{\lambda_{0,2}} \quad (7)$$

where

$\kappa_D = a_2 / \lambda_{0,2}$ is the displacement conversion factor;

$\lambda_{0,2}$ is the Bragg wavelength of FBG2;

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

The wavelength changes measured at the various displacements and temperatures shall be reported together with the measurement procedure.

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

5.6 Displacement conversion factor

The displacement conversion factor κ_D is a linear approximation of the response of a displacement sensor, which is used in practice to characterize its displacement sensitivity. In general, it is not necessary for the response of a displacement sensor to be a linear function of displacement, and it can deviate from linearity. For an easy statement of the displacement measurement result, the displacement conversion factor is used under defined conditions. Manufacturers typically specify κ_D for their displacement sensor products and define, for specified application conditions, a measurement uncertainty within which the displacement conversion factor is valid. The manufacturer shall ensure the validity of the displacement conversion factor for all specified operating conditions and that all specified environmental and long-term influences on the displacement sensitivity are within the uncertainty band of the displacement conversion factor. Together with the displacement conversion factor, the manufacturer should also provide the temperature compensation constant.

5.7 Temperature and humidity ranges

5.7.1 General

FBG-based displacement 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.

The temperature and humidity ranges of FBG displacement sensors are limited, because the sensors consist of materials that can degrade when exposed to temperature and humidity outside of these ranges (for example Bragg gratings, polymer and other synthetic materials). Thus, FBG displacement sensors should only be used in or exposed to limited environmental conditions. The individual temperature and humidity ranges are defined as follows:

- For storage and transport:
Temperature and humidity ranges for storage and transport are the ranges in which the non-applied, packed FBG displacement sensor can be stored for at least one year after delivery. In this period of time, the technical specifications shall not vary.
- For installation:
Temperature and humidity ranges for installation are the ranges in which the FBG displacement 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 ranges for operation are the environmental ranges in which the FBG displacement sensor, installed according to the manufacturer's instructions, can be operated, and the specifications stated in the data sheet are maintained for the period of operation.

5.7.2 Measurement procedure

The tests for determining the temperature and humidity ranges 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, alternatively, by an adequate ageing technique. The FBG displacement sensor shall then be tested by measuring and evaluating the FBG spectrum under load within the specified displacement range.

The tests for determining the temperature and humidity ranges for installation shall be carried out in an appropriate climate chamber at the lower and the upper limits of the specified ranges. The FBG displacement 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 temperature and humidity ranges. The FBG displacement sensor shall then be tested by measuring and evaluating the FBG spectrum under load within the specified displacement range.

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

5.7.3 Evaluation

No particular evaluation is necessary.

5.7.4 Reporting

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

5.8 Durability

5.8.1 General

The metal plate type FBG displacement sensor and the spring type FBG displacement sensor consisting of spring and pulley shall be tested for durability, to ensure that repeated displacement changes do not significantly degrade the sensor performance.

5.8.2 Measurement procedure

Record the Bragg wavelength before the durability test and repeatedly change the displacement setting in the sensing part of the FBG displacement sensor (see Figure 1) within the maximum measurement range for a certain number of times, as specified in the data sheet provided by manufacturer. After repeated tests, measure the Bragg wavelength and record the difference from the initial value.

5.8.3 Reporting

Bragg wavelength deviation before and after the durability test, repetition speed, and repetition number shall be reported.

6 Features and characteristics to be reported

6.1 Construction details

The features to be quoted shall refer to the appropriate sensor configuration according to 4.2. The pertinent configuration shall be named.

6.2 Configuration of the FBG displacement sensor

The configuration of the FBG displacement sensor according to 4.2 shall be reported by the manufacturer. If more than one configuration is reported, features and characteristics measured according to Clause 5 shall be given for every configuration.

6.3 Temperature and humidity range

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

6.4 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 the IEC 61754 series.

7 Recommendations for use of FBG measuring instruments

To characterize FBG displacement sensors, measuring devices shall be employed that can determine the variation in the Bragg wavelength with sufficiently high accuracy. Demands on the accuracy of measuring devices depend on the quality standard of the FBG displacement sensor type. In this respect, a distinction shall be made between highly sophisticated and less sophisticated devices (tunable laser and optical filter, optical spectrum analyser, 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 SNR of the measurement device shall be of adequately high performance.

In case of suspected polarization effects on parameters such as Bragg wavelength, spectral width and reflectivity, it is recommended to verify these polarization effects by using polarization measuring equipment. Polarization effects can result from inhomogeneity introduced during the original manufacture of the FBG, inhomogeneous bonding of the FBG into the displacement sensor device, or inhomogeneous bonding of the displacement sensor device to the host structure.

For better assessment of applied FBG displacement sensors, or any FBG displacement sensor configuration according to 4.2, 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 5.2, 5.3, and 5.4) 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. the full width at half maximum (FWHM) bandwidth of a laser) or by the spectral resolution of the monochromatic device.

To enable comparison between measurement results of different measuring devices, information about the sampling and calculation methods used should be made available.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	26
INTRODUCTION.....	28
1 Domaine d'application	29
2 Références normatives	29
3 Termes, définitions, symboles et abréviations.....	30
3.1 Termes et définitions	30
3.2 Symboles	31
3.3 Abréviations.....	31
4 Structure et caractéristiques	31
4.1 Réseau de Bragg sur fibre (FBG).....	31
4.2 Configuration du capteur de déplacement à FBG	32
4.3 Longueur d'onde de référence	35
4.4 Comportement de stabilité	35
4.4.1 Dérive et fluage	35
4.4.2 Hystérésis	36
4.5 Indication des valeurs mesurées	36
4.6 Mesure en référence au point zéro.....	36
4.7 Mesure sans référence au point zéro	37
4.8 Jeu de production	37
4.9 Type normal de capteur de déplacement à FBG.....	37
4.10 Série de capteurs de déplacement à FBG	37
5 Caractéristiques à mesurer.....	37
5.1 Échantillonnage et évaluation statistique	37
5.1.1 Échantillonnage	37
5.1.2 Compte-rendu d'un résultat de mesure	38
5.1.3 Conditionnement de l'échantillon	38
5.1.4 Conditions ambiantes des essais.....	38
5.1.5 Types d'essais exigés pour les caractéristiques individuelles	39
5.2 Longueur d'onde de Bragg λ_B	39
5.2.1 Généralités.....	39
5.2.2 Procédure de mesure	39
5.2.3 Évaluation	39
5.2.4 Compte-rendu.....	40
5.3 Largeur spectrale d'un FBG	40
5.3.1 Procédure de mesure	40
5.3.2 Évaluation	40
5.3.3 Compte-rendu.....	40
5.4 Réflectivité d'un FBG	40
5.4.1 Procédure de mesure	40
5.4.2 Évaluation	40
5.4.3 Compte-rendu.....	41
5.5 Mesure de déplacement.....	41
5.5.1 Généralités.....	41
5.5.2 Montage d'essai	41
5.5.3 Procédure de mesure	42
5.5.4 Étalonnage et évaluation	44

5.6	Facteur de conversion de déplacement	45
5.7	Plages de températures et d'humidité	45
5.7.1	Généralités	45
5.7.2	Procédure de mesure	46
5.7.3	Évaluation	46
5.7.4	Compte-rendu.....	46
5.8	Endurance	46
5.8.1	Généralités	46
5.8.2	Procédure de mesure	47
5.8.3	Compte-rendu.....	47
6	Caractéristiques à consigner	47
6.1	Détails de construction	47
6.2	Configuration du capteur de déplacement à FBG	47
6.3	Plages de températures et d'humidité	47
6.4	Exigences de connexion	47
7	Recommandations relatives à l'utilisation des appareils de mesure de FBG	47
Figure 1 – Exemples de types de capteurs utilisés pour mesurer les variations de déplacement		32
Figure 2 – Variation de la longueur d'onde de Bragg causée par le déplacement dans un capteur à ressort.....		33
Figure 3 – Variations de longueur d'onde de Bragg causées par le déplacement dans un capteur à plaque métallique		34
Figure 4 – Schémas des capteurs de déplacement utilisant deux FBG		35
Figure 5 – Schéma d'un montage d'essai de mesure de déplacement.....		42
Figure 6 – Exemple de dépendance à la température des longueurs d'onde de Bragg de deux FBG		43
Figure 7 – Exemple de dépendance au déplacement des longueurs d'onde de Bragg de FBG1 et FBG2		44
Tableau 1 – Types d'essais exigés pour les caractéristiques individuelles		39

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CAPTEURS FIBRONIQUES –

Partie 6-1: Mesure de déplacement – Capteurs de déplacement basés sur des réseaux de Bragg sur fibre

AVANT-PROPOS

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

L'IEC 61757-6-1 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 cette Norme internationale est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
86C/1874/CVD	86C/1891/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 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 61757, publiée sous le titre général *Capteurs fibroniques*, 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61757-6-1:2024

INTRODUCTION

Le présent document fait partie de la série IEC 61757, spécifique aux capteurs fibroniques. Les spécifications génériques applicables aux capteurs fibroniques sont définies dans l'IEC 61757.

Les parties distinctes de la série IEC 61757 sont numérotées en tant qu'IEC 61757-*M-T*, où *M* désigne la mesure et *T* la technologie. La série IEC 61757-6-*T* concerne les mesures de déplacement.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61757-6-1:2024

CAPTEURS FIBRONIQUES –

Partie 6-1: Mesure de déplacement – Capteurs de déplacement basés sur des réseaux de Bragg sur fibre

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61757 définit la terminologie, la structure et les méthodes de mesure des capteurs de déplacement optiques basés sur des réseaux de Bragg sur fibre (FBG) utilisés comme élément de détection. Le présent document spécifie également les particularités et les caractéristiques les plus importantes de ces capteurs de déplacement fibroniques et définit les procédures de mesure de ces particularités et caractéristiques.

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

IEC 61300-2 (toutes les parties), *Dispositifs d'interconnexion et composants passifs fibroniques – Procédures fondamentales d'essais et de mesures – Partie 2-X: 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, *Étalonnage des appareils de mesure de longueur d'onde/appareil de mesure de la fréquence optique – Partie 1: Analyseurs de spectre optique*

IEC 62129-2, *Étalonnage 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, *Étalonnage des appareils de mesure de longueur d'onde/appareil de mesure de la fréquence optique – Partie 3: Fréquence mètres optiques faisant référence en interne à un peigne de fréquence*

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

3 Termes, définitions, symboles et abréviations

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et les définitions donnés dans l'IEC 61757, l'IEC 61757-1-1, 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:

- 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

déplacement

D

variation de la distance entre deux points donnés

Note 1 à l'article: Un déplacement est désigné comme un déplacement absolu si un seul des deux points donnés change sa position.

Note 2 à l'article: Un déplacement est désigné comme un déplacement relatif si les deux points donnés changent tous les deux leur position.

3.1.2

capteur de déplacement à FBG

capteur fibronique utilisant un ou plusieurs réseaux de Bragg sur fibre en tant qu'élément de détection pour les mesures de déplacement

3.1.3

facteur de conversion de déplacement

κ_D

rapport de la variation relative de la longueur d'onde $\Delta\lambda / \lambda_0$ à une variation de déplacement ΔD introduite dans un capteur de déplacement à FBG

Note 1 à l'article: Le facteur de conversion de déplacement κ_D est calculé comme suit:

$$\kappa_D = \frac{\left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \right)}{\Delta D}$$

Note 2 à l'article: Le facteur de déplacement, κ_D , est utilisé par les fabricants pour exprimer la réponse au déplacement de leurs produits.

Note 3 à l'article: Le facteur de conversion κ_D pour un capteur de déplacement à FBG prend pour hypothèse une relation linéaire entre la variation de longueur d'onde et le déplacement. En considérant l'ensemble du système de mesure (capteur, dispositif et câblage), le facteur de conversion 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, la relation entre la variation de longueur d'onde et le déplacement est considérée linéaire avec une erreur de mesure admissible définie.

Note 4 à l'article: Le terme "sensibilité au déplacement", exprimé par exemple en pm/mm, est utilisé par certains fabricants pour caractériser la réponse au déplacement de leurs produits.

3.1.4**constante de compensation en température***C*

constante destinée à corriger l'influence des variations de température lorsque le déplacement est obtenu 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.

Note 2 à l'article: Le terme "sensibilité à la température", exprimé par exemple en (pm/°C), est utilisé par certains fabricants pour caractériser l'influence des variations de température de leurs produits.

3.2 Symboles

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

R_{FBG}	réflectivité du FBG
n_{eff}	indice de réfraction efficace du FBG
ΔD	variation du déplacement
ΔT	variation de température
Λ	période du FBG
λ_{B}	longueur d'onde de Bragg
λ_0	longueur d'onde de référence

3.3 Abréviations

FBG	(Fibre Bragg grating) réseau de Bragg sur fibre
FWHM	(Full Width at Half Maximum) largeur à mi-hauteur
SNR	(Signal-to-Noise Ratio) rapport signal/bruit
UV	Ultraviolet

4 Structure et caractéristiques**4.1 Réseau de Bragg sur fibre (FBG)**

Les réseaux de Bragg sur fibre sont des réseaux de diffraction de phase gravés dans des guides d'ondes optiques. Ils sont fréquemment produits au moyen d'un rayonnement lumineux ultraviolet (provenant par exemple d'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 à cette lumière UV. L'image du schéma d'interférence est imprimée sur le cœur de la fibre pour modifier de façon permanente l'indice de réfraction du cœur de la fibre, de sorte que l'indice de réfraction varie périodiquement le long de la fibre. La lumière incidente et transportée est réfléchiée par ces variations périodiques de l'indice de réfraction le long de la fibre. À une certaine longueur d'onde, la lumière réfléchiée est superposée de manière additive (interférence constructive); cette partie spectrale de la lumière incidente est renvoyée sur le port d'entrée de la fibre. Dans le rayonnement lumineux transmis, cette longueur d'onde (appelée longueur d'onde de Bragg λ_{B}) est atténuée en conséquence, en raison de la réflectivité du FBG.

La valeur de la longueur d'onde de Bragg réfléchiée λ_{B} est déterminée à partir de la condition de Bragg exprimée dans la Formule (1).

$$\lambda_{\text{B}} = 2 n_{\text{eff}} \Lambda \quad (1)$$

D'après la Formule (1), la longueur d'onde de Bragg, λ_B , du FBG dépend de l'indice de réfraction efficace n_{eff} du FBG et de la période Λ du FBG. La largeur spectrale de la longueur d'onde de crête de Bragg est 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).

4.2 Configuration du capteur de déplacement à FBG

Le capteur de déplacement à FBG peut être fabriqué à partir de différents matériaux et sous différentes formes (au moyen d'un ou plusieurs FBG servant d'éléments de détection). Le capteur de déplacement à FBG est généralement utilisé pour surveiller le déplacement se produisant entre deux points d'objets différents ou entre deux parties du même objet. Un exemple est la surveillance des variations de déplacement sur les joints de dilatation qui sont installés dans les ponts en vue d'éviter tout dommage à la structure; ces joints se contractent et se dilatent en raison des variations de température. Un autre exemple de détection des variations de déplacement est la surveillance des variations de la taille des fissures dans les structures dans lesquelles des fissures ont dû se produire.

La méthode utilisée pour convertir une variation de déplacement en une variation de la longueur d'onde de Bragg d'un FBG dépend du fabricant du capteur de déplacement. Il existe différentes méthodes, mais une description exhaustive de ces méthodes ne relève pas du domaine d'application du présent document.

À titre d'exemple, le capteur de déplacement à FBG peut être configuré de sorte que le mouvement d'un stylet (qui est la partie de détection de déplacement) produit par un transducteur mécanique entraîne une variation de déformation correspondante dans le FBG, comme cela est représenté à la Figure 1 pour un capteur de type à plaque métallique. Cette variation de déformation dans le FBG modifie alors la longueur d'onde de Bragg réfléchi du FBG, comme cela est représenté à la Figure 2 et à la Figure 3. Par conséquent, le déplacement peut être déterminé par une mesure de la longueur d'onde de Bragg réfléchi du FBG.

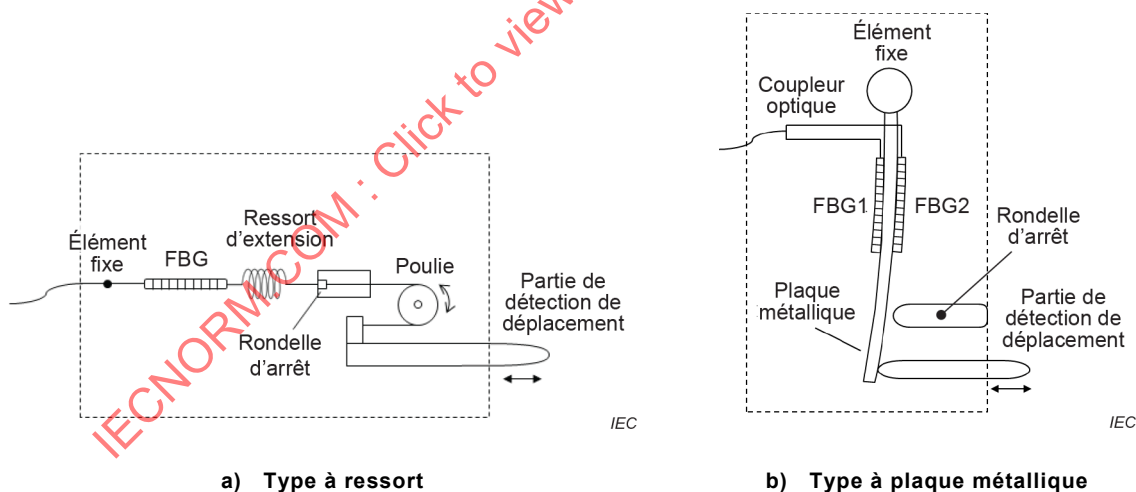


Figure 1 – Exemples de types de capteurs utilisés pour mesurer les variations de déplacement

Dans le capteur à ressort représenté à la Figure 1 a), une variation de déplacement entraîne une rotation d'une poulie, ce qui modifie la longueur d'un ressort de traction fixé à un FBG. La variation résultante de la force de traction appliquée au FBG entraîne une variation de déformation dans le FBG, qui modifie alors la longueur d'onde réfléchie du FBG, comme cela est représenté à la Figure 2 a) et à la Figure 2 b). Lors de l'installation du capteur de déplacement à FBG représenté à la Figure 2 a), la rondelle d'arrêt est souvent placée près du centre des variations de déplacement attendues, de sorte que des variations de déplacement aussi bien positives que négatives peuvent être détectées. Si les variations de déplacement attendues ne se produisent que dans une seule direction, on peut mesurer une variation de déplacement plus importante en plaçant la rondelle d'arrêt davantage vers la gauche ou vers la droite.

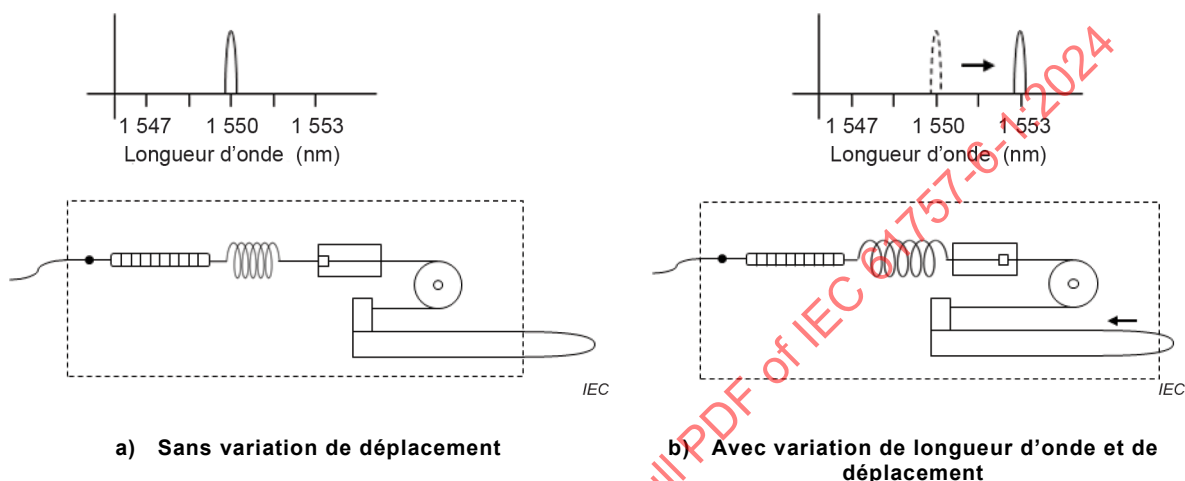


Figure 2 – Variation de la longueur d'onde de Bragg causée par le déplacement dans un capteur à ressort

Dans le capteur de type à plaque métallique représenté à la Figure 1 b), une variation du déplacement entraîne une courbure de la plaque métallique élastique. La variation de la forme de la plaque métallique est détectée par deux FBG, appelés FBG1 et FBG2, qui sont fixés sur les deux côtés de la plaque métallique, comme cela est représenté à la Figure 3 a). Lorsque le stylet de mesure du déplacement quitte sa position d'origine pour aller vers la gauche, la plaque métallique élastique se courbe davantage vers la gauche, ce qui provoque une contraction de FBG1 et une dilatation de FBG2. Étant donné que la contraction de FBG1 entraîne une augmentation de la contrainte et qu'une dilatation de FBG2 entraîne une augmentation de la déformation, le déplacement modifie les longueurs d'onde de Bragg réfléchies des deux FBG dans les directions opposées, comme cela est représenté à la Figure 3 b).

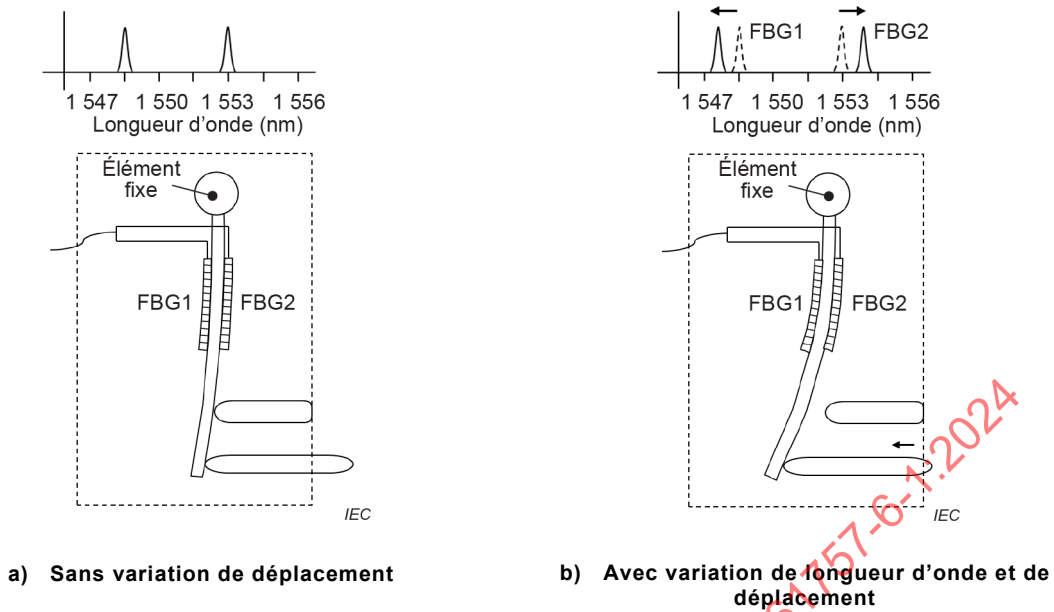


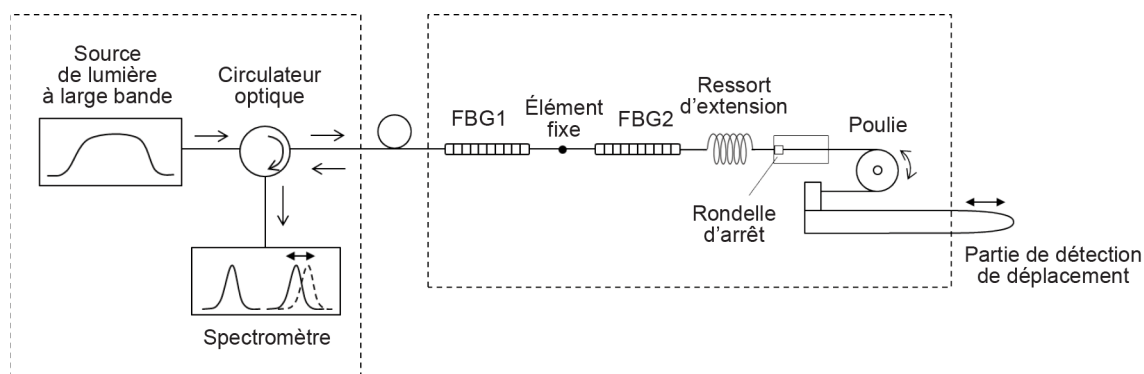
Figure 3 – Variations de longueur d'onde de Bragg causées par le déplacement dans un capteur à plaque métallique

Une source de lumière à large bande et un spectromètre optique peuvent être utilisés pour mesurer la variation de la longueur d'onde de Bragg d'un FBG. La source de lumière et le spectromètre sont généralement connectés au FBG sensible au déplacement par l'intermédiaire d'un circulateur optique, comme cela est représenté schématiquement à la Figure 4 pour les capteurs à ressort et à plaque métallique.

Dans le capteur à ressort représenté à la Figure 4 a), un FBG supplémentaire (appelé FBG1) est inséré près du FBG de détection de déplacement (appelé FBG2) pour permettre de compenser la dépendance à la température de FBG2 (comme cela est décrit à la 5.5.3). Le FBG1 supplémentaire mesure uniquement les variations de température, tandis que FBG2 mesure les variations de température et de déplacement. FBG1 et FBG2 peuvent être connectés en série, comme cela est représenté à la Figure 4 a), ou en parallèle, comme dans l'agencement représenté à la Figure 4 b).

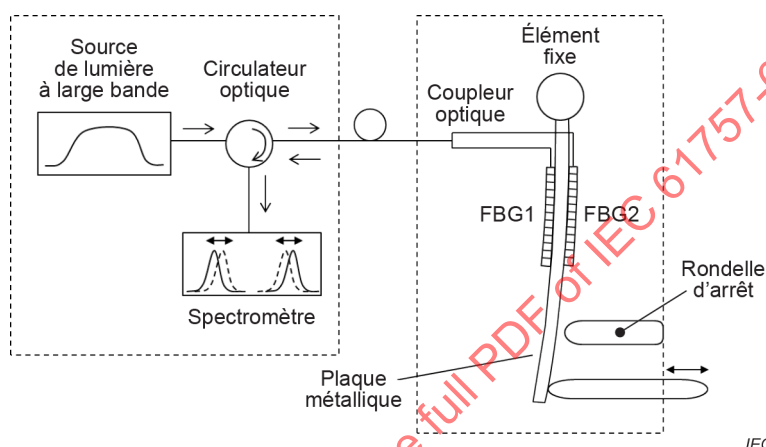
Le capteur à plaque métallique représenté à la Figure 4 b) utilise deux FBG pour la mesure du déplacement. Un FBG supplémentaire pour la mesure de la température n'est pas nécessaire dans cet agencement, car la variation de déplacement est calculée à partir de la variation différentielle des longueurs d'onde réfléchies de FBG1 et de FBG2. Si les variations de longueur d'onde de Bragg dues aux variations de température sont identiques dans les deux FBG, la dépendance à la température de la longueur d'onde de Bragg est compensée automatiquement.

Le capteur de type plaque métallique de la Figure 4 b) utilise un coupleur optique ayant un rapport de division de 3 dB pour connecter FBG1 et FBG2 à la source de lumière à large bande et au spectromètre.



IEC

a) Type à ressort avec FBG supplémentaire pour la mesure de la température



IEC

b) Type à plaque métallique utilisant deux FBG pour la mesure du déplacement

Figure 4 – Schémas des capteurs de déplacement utilisant deux FBG

4.3 Longueur d'onde de référence

La longueur d'onde de Bragg mesurée avec un FBG donné peut dépendre de la méthode d'évaluation utilisée et, plus important encore, de l'installation spécifique du FBG. Dans le contexte du présent document, la longueur d'onde mesurée après l'installation du FBG dans le capteur de déplacement est appelée la 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, prédéformé, il existe une différence entre la longueur d'onde de référence et la longueur d'onde de Bragg du fabricant. Si le FBG n'est pas prédéformé, la différence entre la longueur d'onde de référence et la longueur d'onde de Bragg du fabricant est généralement très faible, de sorte que les deux valeurs de longueur d'onde peuvent être utilisées de manière interchangeable sans introduire d'erreur importante.

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.

4.4 Comportement de stabilité

4.4.1 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. Dans le contexte du présent document, la stabilité décrit la propriété du capteur de déplacement à FBG appliqué à maintenir ses caractéristiques optiques sur la durée d'utilisation, qui est déterminée par l'application, ou à ne présenter que de faibles écarts admissibles.

Des variations de la valeur mesurée peuvent apparaître lorsque:

- les matériaux concernés sont soumis à des contraintes à long terme (fluage),
- aucune contrainte de charge n'est appliquée (dérive au point zéro).

Le fluage et la dérive au point zéro peuvent résulter d'une dégradation chimique ou physique lente des matériaux utilisés dans le capteur (par exemple due au vieillissement), ou de changements par rapport aux conditions d'environnement initiales (par exemple température ou humidité, ou les deux).

Le fluage est une grandeur qui dépend des matériaux utilisés dans le capteur, du montage du capteur et du type de fonctionnement. Il ne peut être déterminé que de manière expérimentale. Sous réserve que le matériau de liaison prescrit par le fabricant soit utilisé, les erreurs de mesure résultant du fluage sont généralement négligeables par rapport à l'incertitude de mesure du facteur de conversion de déplacement κ_D .

La dérive est une variation lente des caractéristiques métrologiques du système de mesure. Pour les capteurs FBG de l'état de l'art, l'erreur de mesure résultant de la dérive est faible et négligeable. Dans ce cas, aucune spécification supplémentaire n'est exigée pour la dérive. Cependant, si des dérives apparaissent en raison de la modification d'un processus de production, par exemple, ou de l'application de matériaux de revêtement inadaptés, il convient d'indiquer la dérive.

4.4.2 Hystérésis

En science des matériaux, l'hystérésis décrit un comportement particulier des matériaux faisant qu'un matériau ne revient pas à son état initial, ou revient à son état initial avec un retard important après que la charge d'entrée a été retirée. Cela signifie que la valeur de sortie d'un capteur ayant un comportement de déformation élastoplastique ne dépend pas seulement de la valeur d'entrée, elle dépend aussi de processus qui dépendent de la vitesse.

Lorsque le déplacement (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 variations de déplacement répétées ou cycliques dans les limites de la plage de fonctionnement spécifiée du capteur, il convient de décrire la quantité d'hystérésis.

4.5 Indication des valeurs mesurées

Les variations de la longueur d'onde de Bragg induites dans le FBG sont mesurées par un dispositif de mesure connecté (produisant les valeurs mesurées) et traitées pour une utilisation métrologique (produisant le résultat de la mesure). Habituellement, le dispositif de mesure délivre le signal optique d'entrée au capteur et enregistre le signal de réponse du capteur.

4.6 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 de déplacement 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.

4.7 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, par exemple, aux mesures d'amplitude d'une oscillation périodique.

4.8 Jeu de production

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

4.9 Type normal de capteur de déplacement à FBG

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

4.10 Série de capteurs de déplacement à FBG

Une série est un lot de capteurs de déplacement 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.

5 Caractéristiques à mesurer

5.1 Échantillonnage et évaluation statistique

5.1.1 Échantillonnage

5.1.1.1 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 de déplacement à FBG ne peuvent être déterminées que sur un capteur installé. Dans ce cas, une évaluation statistique doit être effectuée. Il convient de noter le nombre d'échantillons de capteurs et la date de l'évaluation.

5.1.1.2 Échantillonnage 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.

5.1.1.3 Essais de type

L'essai de type est un essai par échantillonnage aléatoire décrit en 5.1.1.2, dans lequel le résultat des essais réalisés sur au moins cinq spécimens de ce type est déclaré valide pour tous les jeux de production.

5.1.1.4 Essais de série

Un essai de série est un essai par échantillonnage aléatoire décrit en 5.1.1.2, dans lequel le résultat est déterminé pour un seul spécimen dans une série de capteurs et déclaré valide pour la série entière.

5.1.1.5 Essais sur des échantillons individuels

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

5.1.2 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 étant 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 au Guide ISO/IEC 98-3.

Si ces capteurs X_1 à X_n sont soumis aux essais, alors la caractéristique est donnée comme étant la valeur moyenne, $\bar{x}$, des n valeurs x_1 à x_n mesurées avec les capteurs, comme cela est indiqué dans la Formule (2).

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

L'écart-type des n valeurs mesurées est donné par la Formule (3).

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

5.1.3 Conditionnement de l'échantillon

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.

5.1.4 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.

5.1.5 Types d'essais exigés pour les caractéristiques individuelles

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

Tableau 1 – Types d'essais exigés pour les caractéristiques individuelles

Caractéristiques spécifiques à une conception	Type d'essai
Longueur d'onde de Bragg	Essai sur des échantillons individuels
Largeur spectrale d'un FBG	Essai de série
Réflexivité	Essai de type
Facteur de conversion de déplacement	Essai de série
Constante de compensation en température	Essai de série
Plages d'humidité et de températures de fonctionnement	Essai de série
Endurance	Essai de série

5.2 Longueur d'onde de Bragg λ_B

5.2.1 Généralités

Les caractéristiques suivantes du spectre d'un FBG doivent être mesurées selon les exigences du présent document ou à la demande du client:

- valeur de crête de la longueur d'onde de Bragg en nm;
- largeur spectrale du FBG en nm;
- réflectivité d'un FBG en %;
- niveau relatif d'un lobe latéral (également appelé "rapport de suppression des lobes latéraux") en dB;
- rapport signal/bruit (SNR) d'un FBG en dB;
- premiers pôles (minima) à la crête de la longueur d'onde de Bragg réfléchie (désignée Λ_{+0} et Λ_{-0}).

5.2.2 Procédure de mesure

Pour des FBG à réflectivité relativement basse ($R_{\text{FBG}} < 50 \%$), la longueur d'onde de Bragg doit être mesurée en réflexion. En revanche, pour des FBG à réflectivité plus élevée ($R_{\text{FBG}} > 90 \%$), la longueur d'onde de Bragg doit être mesurée en transmission car la valeur maximale de la longueur d'onde de Bragg réfléchie devient progressivement plus difficile à déterminer avec exactitude. Par conséquent, la valeur de transmission minimale doit être utilisée pour mesurer la longueur d'onde de Bragg. Pour les valeurs intermédiaires de réflectivité (R_{FBG} comprise entre 50 % et 90 %), l'une ou l'autre des configurations peut être utilisée.

La longueur d'onde de Bragg du FBG doit être mesurée avec une résolution spectrale suffisante et elle doit être consignée. La résolution spectrale doit être inférieure au dixième de l'incertitude de mesure de la longueur d'onde à mesurer. Il convient de consigner la méthode de mesure utilisée et l'incertitude correspondante (résolution spectrale). En cas d'effets de polarisation, des mesures spéciales doivent être réalisées.

5.2.3 Évaluation

Aucune évaluation n'est nécessaire pour la mesure de la longueur d'onde de Bragg.