IEC 61757-2-1

Edition 1.0 2021-07

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Fibre optic sensors – Part 2-1: Temperature measurement – Temperature sensors based on fibre Bragg gratings

Capteurs fibroniques – Partie 2-1: Mesure de la température – Capteurs de température basés sur des réseaux de Bragg à fibres

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ICS 33.180.99

ISBN 978-2-8322-1009-5

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.

® Registered trademark of the International Electrotechnical Commission
Marque déposée de la Commission Electrotechnique Internationale

CONTENTS

FOREWORD 4
INTRODUCTION 6
1 Scope 7
2 Normative references 7
3 Terms, definitions, abbreviated terms and symbols of quantities 7
3.1 Terms and definitions 8
3.2 Abbreviated terms 11
3.3 Symbols of quantities 12
4 Design and characteristics of an FBG temperature sensor 13
4.1 Fibre Bragg grating (FBG) 13
4.2 Dependence of Bragg wavelength on temperature 13
4.3 Design features 14
5 Performance parameters 14
6 Test apparatuses for performance parameter determination 15
6.1 Temperature calibration equipment 15
6.2 Optical spectrum analyzer and interrogator 16
6.3 Broadband light source 16
7 Test procedures of performance parameters 16
7.1 Sample preparation and test set-up 16
7.2 Bragg wavelength λ_{Bref} 17
7.2.1 Measuring procedure 17
7.2.2 Evaluation 18
7.2.3 Reporting 18
7.3 FBG peak spectral width 18
7.3.1 Measuring procedure 18
7.3.2 Evaluation 18
7.3.3 Reporting 18
7.4 FBG reflectivity 18
7.4.1 Measuring procedure 18
7.4.2 Evaluation 18
7.4.3 Reporting 19
7.5 Side-lobe suppression ratio 19
7.5.1 Measuring procedure 19
7.5.2 Evaluation 20
7.5.3 Reporting 20
7.6 Signal-to-noise ratio 21
7.6.1 Measuring procedure 21
7.6.2 Evaluation 21
7.6.3 Reporting 21
7.7 Characteristic curve 22
7.7.1 Measuring procedure 22
7.7.2 Evaluation 23
7.7.3 Reporting 27
7.8 Thermal time constant 28
7.8.1 Measuring procedure 28
7.8.2 Evaluation 28

7.8.3 Reporting 28
7.9 Sensor stability 29
7.9.1 Measuring procedure 29
7.9.2 Evaluation 29
7.9.3 Reporting 29
Annex A (informative) Blank detail specification 30
A.1 General 30
A.2 Mechanical and optical set-up 30
A.3 Operational characteristics 30
A.4 Limiting parameters 31
A.5 Further information given upon request 31
Annex B (informative) Examples of specific temperature calibration equipment 32
B.1 Simple liquid bath 32
B.2 Liquid tube-thermostat 33
B.3 Solid-state calibration equipment 34
Annex C (informative) Contributions to measurement uncertainty 37
Bibliography 38

Figure 1 – Principal test set-up for FBG 17
Figure 2 – Determination of the FBG reflectivity from the reflection spectrum (left) and transmission spectrum (right) 19
Figure 3 – Side-lobes in the case of a single FBG temperature sensor 20
Figure 4 – Signal-to-noise ratio determination 21
Figure 5 – Example of a polynomial fit of calibration points $\lambda_{B,i}(T_{N,i})$ 24
Figure 6 – Example of a third-order polynomial fit 25
Figure 7 – Example of a fourth-order polynomial fit 26
Figure 8 – Example of a polynomial fit of the sensitivity 27
Figure 9 – Typical response time curve 28
Figure B.1 – Schematic representation of a simple liquid bath [3] 32
Figure B.2 – Schematic representation of liquid calibration device for connection to laboratory liquid thermostats [4] 33
Figure B.3 – Schematic representation of a long-tube fluid calibration device [3] 34
Figure B.4 – Schematic representation of a solid-state calibration device for higher temperatures [4] 35
Figure B.5 – Schematic representation of a dry-block calibrator for calibrating an FBG temperature sensor at higher temperatures 36

Table 1 – Calibration bath fluids 15

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

_____

FIBRE OPTIC SENSORS –

Part 2-1: Temperature measurement – Temperature 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 61757-2-1 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:

FDIS	Report on voting
86C/1725/FDIS	86C/1737/RVD

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

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

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/standardsdev/publications.

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.

INTRODUCTION

This document is based on the guideline VDI/VDE 2660 Blatt 2:2020-04, *Technical temperature measurement – Optical temperature sensor based on fibre Bragg gratings – Recommendation on temperature measurement and statement of measurement uncertainty* [1][1]. It was prepared in cooperation with VDI/VDE-GMA Technical Committee 2.17 "Fibre optic measurement techniques".

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.

[1] Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

FIBRE OPTIC SENSORS –

Part 2-1: Temperature measurement – Temperature sensors based on fibre Bragg gratings

1 Scope

This part of IEC 61757 specifies the terminology, characteristic performance parameters and related test methods of optical temperature sensors based on fibre Bragg gratings (FBG) that carry out temperature measurements in the temperature range between –260 °C and 600 °C.

Generic specifications for fibre optic sensors are defined in IEC 61757.

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 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*

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 42
INTRODUCTION 44
1 Domaine d'application 45
2 Références normatives 45
3 Termes, définitions, abréviations et symboles de grandeurs 45
3.1 Termes et définitions 46
3.2 Termes abrégés 50
3.3 Symboles de grandeurs 50
4 Conception et caractéristiques d'un capteur de température à FBG 51
4.1 Réseau de Bragg à fibres (FBG) 51
4.2 Dépendance de la longueur d'onde de Bragg à la température 51
4.3 Caractéristiques de conception 52
5 Paramètres de performance 53
6 Appareillage d'essai pour la détermination des paramètres de performance 53
6.1 Equipement d'étalonnage de la température 53
6.2 Analyseur de spectre optique et interrogateur 54
6.3 Source de lumière à large bande 54
7 Procédures d'essai des paramètres de performance 54
7.1 Préparation des échantillons et montage d'essai 54
7.2 Longueur d'onde de Bragg λ_{Bref} 55
7.2.1 Procédure de mesure 55
7.2.2 Evaluation 56
7.2.3 Rapport 56
7.3 Largeur spectrale à la valeur de crête du FBG 56
7.3.1 Procédure de mesure 56
7.3.2 Evaluation 56
7.3.3 Rapport 56
7.4 Réflectivité du FBG 57
7.4.1 Procédure de mesure 57
7.4.2 Evaluation 57
7.4.3 Rapport 58
7.5 Rapport de suppression des lobes latéraux 58
7.5.1 Procédure de mesure 58
7.5.2 Evaluation 58
7.5.3 Rapport 59
7.6 Rapport signal/bruit 59
7.6.1 Procédure de mesure 59
7.6.2 Evaluation 59
7.6.3 Rapport 60
7.7 Courbe caractéristique 60
7.7.1 Procédure de mesure 60
7.7.2 Evaluation 62
7.7.3 Rapport 66
7.8 Constante de temps thermique 67
7.8.1 Procédure de mesure 67
7.8.2 Evaluation 67

7.8.3 Rapport 67
7.9 Stabilité du capteur 68
7.9.1 Procédure de mesure 68
7.9.2 Evaluation 68
7.9.3 Rapport 68
Annexe A (informative) Spécification particulière-cadre 69
A.1 Généralités 69
A.2 Montage mécanique et optique 69
A.3 Caractéristiques de fonctionnement 69
A.4 Paramètres limites 70
A.5 Informations supplémentaires fournies sur demande 70
Annexe B (informative) Exemples d'équipement spécifique pour l'étalonnage de la température 71
B.1 Bain de liquide simple 71
B.2 Thermostat à tube de liquide 72
B.3 Equipement d'étalonnage à semiconducteur 73
Annexe C (informative) Contributions à l'incertitude de mesure 76
Bibliographie 77

Figure 1 – Montage d'essai principal pour FBG 55
Figure 2 – Détermination de la réflectivité du FBG à partir des spectres de réflexion (à gauche) et de transmission (à droite) 57
Figure 3 – Lobes latéraux dans le cas d'un seul capteur de température à FBG 59
Figure 4 – Détermination du rapport signal/bruit 60
Figure 5 – Exemple d'ajustement polynomial de points d'étalonnage $\lambda_{B,i}(T_{N,i})$ 62
Figure 6 – Exemple d'ajustement polynomial de troisième ordre 64
Figure 7 – Exemple d'ajustement polynomial de quatrième ordre 65
Figure 8 – Exemple d'ajustement polynomial de la sensibilité 66
Figure 9 – Courbe type du temps de réponse 67
Figure B.1 – Représentation schématique d'un bain de liquide simple [3] 71
Figure B.2 – Représentation schématique du dispositif d'étalonnage en milieu liquide destiné à être raccordé aux thermostats de liquide d'un laboratoire [4] 72
Figure B.3 – Représentation schématique d'un dispositif d'étalonnage à tube long en milieu liquide [3] 73
Figure B.4 – Représentation schématique d'un dispositif d'étalonnage à semiconducteur pour les températures plus élevées [4] 74
Figure B.5 – Représentation schématique d'un bloc étalon utilisé pour étalonner un capteur de température à FBG à des températures plus élevées 75

Tableau 1 – Fluides des bains d'étalonnage 54

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

CAPTEURS FIBRONIQUES –

Partie 2-1: Mesure de la température – Capteurs de température 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. A 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 propriété et averti de leur existence.

L'IEC 61757-2-1 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:

FDIS	Rapport de vote
86C/1725/FDIS	86C/1737/RVD

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

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

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 61757, publiées 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. A cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

INTRODUCTION

Le présent document est basé sur les lignes directrices VDI/VDE 2660 Blatt 2:2020-04, *Technical temperature measurement – Optical temperature sensor based on fibre Bragg gratings – Recommendation on temperature measurement and statement of measurement uncertainty* [1][1]. Il a été élaboré en coopération avec le Comité technique VDI/VDE-GMA 2.17 "Fibre optic measurement techniques".

La numérotation de la série IEC 61757 a été changée selon la logique suivante: les parties sont numérotées sous la forme IEC 61757-M-T, où M représente la grandeur à mesurer et T la technologie.

[1] Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

CAPTEURS FIBRONIQUES –

Partie 2-1: Mesure de la température – Capteurs de température basés sur des réseaux de Bragg à fibres

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61757 spécifie la terminologie, les paramètres de performance caractéristiques et les méthodes d'essai associées des capteurs de température optiques basés sur des réseaux de Bragg à fibres (FBG) qui réalisent des mesures de température dans la plage de températures comprise entre –260 °C et 600 °C.

Les spécifications génériques applicables aux capteurs fibroniques sont définies dans l'IEC 61757.

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* (disponible à l'adresse: www.electropedia.org)

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*

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