IEC 61757-3-2

Edition 1.0 2022-03

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

colour inside

Fibre optic sensors – Part 3-2: Acoustic sensing and vibration measurement – Distributed sensing

Capteurs fibroniques – Partie 3-2: Détection acoustique et mesure des vibrations – Détections réparties

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ICS 33.180.99

ISBN 978-2-8322-1093-1

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 5
INTRODUCTION 7
1 Scope 8
2 Normative references 8
3 Terms, definitions, abbreviated terms and symbols 8
3.1 Terms and definitions 8
3.2 Abbreviated terms 11
3.3 Symbols 12
4 Performance parameters of a distributed acoustic sensing system 13
5 Test apparatuses for performance parameter determination 13
5.1 Simulated fibre sensor (SFS) 13
5.2 Fibre stretcher 14
5.3 Signal generation and amplification instrumentation 15
5.4 Optical attenuator 15
5.5 Isolation chamber 15
6 Test procedures of performance parameters 16
6.1 General 16
6.2 Dynamic range 16
6.2.1 General 16
6.2.2 Set-up 16
6.2.3 Stimulus 16
6.2.4 Data collection and processing 17
6.2.5 Data reporting 19
6.3 Frequency response 19
6.3.1 General 19
6.3.2 Set-up 19
6.3.3 Stimulus 20
6.3.4 Data collection and processing 20
6.3.5 Data reporting 21
6.4 Fidelity 23
6.4.1 General 23
6.4.2 Set-up 23
6.4.3 Stimulus 23
6.4.4 Data collection and processing 24
6.4.5 Data reporting 24
6.5 Self-noise 24
6.5.1 General 24
6.5.2 Set-up 24
6.5.3 Stimulus 25
6.5.4 Data collection and processing 25
6.5.5 Data reporting 28
6.6 Spatial resolution 28
6.6.1 General 28
6.6.2 Set-up 29
6.6.3 Stimulus 29
6.6.4 Data collection and processing 29

6.6.5 Data reporting 30
6.7 Crosstalk 32
6.7.1 General 32
6.7.2 Set-up 32
6.7.3 Stimulus 32
6.7.4 Data collection and processing 32
6.7.5 Data reporting 33
6.8 Loss budget 33
6.8.1 General 33
6.8.2 Set-up 34
6.8.3 Stimulus 34
6.8.4 Data collection and processing 34
6.8.5 Data reporting 34
6.9 Sensor reflection robustness 35
6.9.1 General 35
6.9.2 Set-up 35
6.9.3 Stimulus 37
6.9.4 Data collection, processing, and reporting 38
Annex A (informative) Conversion of optical phase measurement to strain 39
Annex B (normative) Requirements for low uncertainty measurement 42
B.1 Single tone stimulus testing 42
B.2 Frequency response testing 43
Annex C (informative) FFT window functions 45
C.1 Flat top window used for frequency domain measurements of spectral peaks 45
C.2 Window functions used for frequency domain noise measurements 46
Bibliography 49

Figure 1 – Distributed acoustic sensing system 9
Figure 2 – Signal parameters relating to time series and their spatial point identification 12
Figure 3 – Simulated fibre sensor 14
Figure 4 – Configuration for SFS showing the locations TP_1, TP_2, and TP_3 14
Figure 5 – Test set-up for dynamic range test 16
Figure 6 – Example of a strain stimulus signal and recovered phase of IU response with a limit at 17 s 18
Figure 7 – Example of a zoom view of strain stimulus signal and recovered phase of IU response showing a phase jump at 16,98 s 19
Figure 8 – Test set-up for frequency response test 20
Figure 9 – Magnitude response showing the 40 stimulus signals all with magnitude 21
Figure 10 – Interrogator response to test stimulus, scaled in strain units, shown in the frequency domain 22
Figure 11 – Interrogator normalized frequency response 23
Figure 12 – Test set-up for fidelity test 23
Figure 13 – Test set-up for self-noise 25
Figure 14 – 2D data field representing the time varying acoustic field as a function of distance 26
Figure 15 – System noise floor data processing schematic 27
Figure 16 – Example plot of self-noise data 28

Figure 17 – Test set-up for spatial resolution test 29
Figure 18 – Spatial sample points to be used for spatial resolution evaluation 30
Figure 19 – Graphical plotting approach used to determine spatial resolution 31
Figure 20 – Test set-up for crosstalk measurement 32
Figure 21 – Highlighted points to be sampled for crosstalk test 33
Figure 22 – Example plot for crosstalk test results 33
Figure 23 – Test set-up for loss budget test 34
Figure 24 – Test configurations for sensor reflection robustness 36
Figure 25 – Fabrication examples for creating partial reflections 37
Figure B.1 – Fibre stretcher spatial sample points 42
Figure B.2 – Frequency domain plot of single tone stimulus 43
Figure B.3 – Frequency response plot of single tone stimulus 44
Figure C.1 – Flat-top window and its Fourier transform characteristics [4] 45
Figure C.2 – Blackman-Harris window and its Fourier transform characteristics [5] 46
Figure C.3 – Hamming window and its Fourier transform characteristics [6] 47

Table A.1 – Optical phase and strain relationships 41

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

_____

FIBRE OPTIC SENSORS –

Part 3-2: Acoustic sensing and vibration measurement – Distributed sensing

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 61757-3-2 has been prepared by subcommittee SC 86C: Fibre optic systems and active devices, of IEC technical committee TC 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/1700/CDV	86C/1719/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.

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

INTRODUCTION

This document is based on SEAFOM Measuring Sensor Performance Document – 02 (SEAFOM MSP-02) [1][1]. Within the framework of a type C liaison, SEAFOM proposed this document as a new work item, which was approved by the participating members of IEC SC 86C.

NOTE Except for Figure 1, Figure C.1, Figure C.2, and Figure C.3, all figures in this document were adopted from SEAFOM MSP-02 either in original or in modified form with permission from SEAFOM.

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 3-2: Acoustic sensing and vibration measurement – Distributed sensing

1 Scope

This part of IEC 61757 specifies the terminology, characteristic performance parameters, related test and calculation methods, as well as specific test equipment for interrogation units used in distributed fibre optic acoustic sensing and vibration measurement systems. This document refers to the Rayleigh backscatter and phase detection method by phase-sensitive coherent optical time-domain reflectometry (ϕ-OTDR) only. Quasi-static and low frequency operation modes are not covered by this document.

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 61757:2018, *Fibre optic sensors – Generic specification*

IEC 61757-2-2:2016, *Fibre optic sensors – Part 2-2: Temperature measurement – Distributed sensing*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 53
INTRODUCTION 55
1 Domaine d'application 56
2 Références normatives 56
3 Termes, définitions, termes abrégés et symboles 56
3.1 Termes et définitions 56
3.2 Termes abrégés 60
3.3 Symboles 61
4 Paramètres de performance d'un système de détection acoustique réparti 61
5 Appareillage d'essai pour la détermination des paramètres de performance 62
5.1 Capteur à fibres simulé (SFS) 62
5.2 Extenseur de fibre 63
5.3 Appareillage de génération et d'amplification de signaux 64
5.4 Affaiblisseur optique 64
5.5 Chambre d'isolement 65
6 Procédures d'essai des paramètres de performance 65
6.1 Généralités 65
6.2 Plage dynamique 65
6.2.1 Généralités 65
6.2.2 Montage 65
6.2.3 Stimulus 66
6.2.4 Collecte et traitement des données 66
6.2.5 Rapport de données 68
6.3 Réponse en fréquence 68
6.3.1 Généralités 68
6.3.2 Montage 68
6.3.3 Stimulus 69
6.3.4 Collecte et traitement des données 69
6.3.5 Rapport de données 70
6.4 Fidélité 72
6.4.1 Généralités 72
6.4.2 Montage 72
6.4.3 Stimulus 72
6.4.4 Collecte et traitement des données 73
6.4.5 Rapport de données 73
6.5 Bruit propre 73
6.5.1 Généralités 73
6.5.2 Montage 73
6.5.3 Stimulus 74
6.5.4 Collecte et traitement des données 74
6.5.5 Rapport de données 77
6.6 Résolution spatiale 78
6.6.1 Généralités 78
6.6.2 Montage 78
6.6.3 Stimulus 78
6.6.4 Collecte et traitement des données 78

6.6.5 Rapport de données 80
6.7 Diaphonie 81
6.7.1 Généralités 81
6.7.2 Montage 81
6.7.3 Stimulus 81
6.7.4 Collecte et traitement des données 81
6.7.5 Rapport de données 82
6.8 Bilan d'atténuation 82
6.8.1 Généralités 82
6.8.2 Montage 83
6.8.3 Stimulus 83
6.8.4 Collecte et traitement des données 83
6.8.5 Rapport de données 83
6.9 Robustesse aux réflexions du capteur 84
6.9.1 Généralités 84
6.9.2 Montage 84
6.9.3 Stimulus 86
6.9.4 Collecte, traitement et rapport de données 87
Annexe A (informative) Conversion d'une mesure de phase optique en déformation 88
Annexe B (normative) Exigences de mesure à faible incertitude 91
B.1 Essai de stimulus à tonalité unique 91
B.2 Essai de réponse en fréquence 92
Annexe C (informative) Fonctions de fenêtrage pour FFT 94
C.1 Fenêtre à toit plat utilisée pour les mesures de pics spectraux dans le domaine fréquentiel 94
C.2 Fonctions de fenêtrage utilisées pour les mesures de bruit dans le domaine fréquentiel 95
Bibliographie 98

Figure 1 – Système de détection acoustique répartie 57
Figure 2 – Paramètres d'un signal liés à une série chronologique et leur identification des points spatiaux 61
Figure 3 – Capteur à fibre simulé 63
Figure 4 – Configuration du SFS indiquant les emplacements TP_1, TP_2 et TP_3 63
Figure 5 – Montage pour l'essai de la plage dynamique 65
Figure 6 – Exemple de signal de stimulus de déformation et de phase rétablie de la réponse de l'IU avec une limite à 17 s 67
Figure 7 – Exemple de vue agrandie du signal de stimulus de déformation et de phase rétablie de la réponse de l'IU montrant un saut de phase à 16,98 s 68
Figure 8 – Montage pour l'essai de la réponse en fréquence 69
Figure 9 – Réponse en amplitude montrant les 40 signaux de stimulus et toutes les amplitudes associées 70
Figure 10 – Réponse de l'unité d'interrogation au stimulus d'essai, mise à l'échelle en unités de déformation, représentée dans le domaine fréquentiel 71
Figure 11 – Réponse en fréquence normée de l'unité d'interrogation 72
Figure 12 – Montage d'essai de fidélité 72
Figure 13 – Montage pour l'essai de bruit propre 74

Figure 14 – Champ de données 2D représentant le champ acoustique variable dans le temps en fonction de la distance 75
Figure 15 – Représentation schématique du traitement des données du plancher de bruit d'un système 76
Figure 16 – Exemple de tracé de données relatives au bruit propre 77
Figure 17 – Montage pour l'essai de résolution spatiale 78
Figure 18 – Points échantillons spatiaux à utiliser pour l'évaluation de la résolution spatiale 79
Figure 19 – Approche de restitution graphique utilisée pour déterminer la résolution spatiale 80
Figure 20 – Montage pour l'essai de diaphonie 81
Figure 21 – Points en surbrillance à échantillonner pour l'essai de diaphonie 82
Figure 22 – Exemple de tracé présentant les résultats de l'essai de diaphonie 82
Figure 23 – Montage pour l'essai de bilan d'atténuation 83
Figure 24 – Configurations de l'essai de robustesse aux réflexions du capteur 85
Figure 25 – Exemples de fabrication permettant de créer des réflexions partielles 86
Figure B.1 – Points échantillons spatiaux d'un extenseur de fibre 91
Figure B.2 – Tracé d'un stimulus à tonalité unique dans le domaine fréquentiel 92
Figure B.3 – Tracé de la réponse en fréquence d'un stimulus à tonalité unique 93
Figure C.1 – Fenêtre à toit plat et sa caractéristique de transformée de Fourier 94
Figure C.2 – Fenêtre de Blackman-Harris et sa caractéristique de transformée de Fourier 95
Figure C.3 – Fenêtre de Hamming et sa caractéristique de transformée de Fourier 96

Tableau A.1 – Relation entre phase optique et déformation 90

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

CAPTEURS FIBRONIQUES –

Partie 3-2: Détection acoustique et mesure des vibrations – Détections réparties

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 brevets.

L'IEC 61757-3-2 a été établie par le sous-comité SC 86C: Systèmes et dispositifs actifs à fibres optiques, du comité d'études TC 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/1700/CDV	86C/1719/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 élaborés par l'IEC sont décrits de manière plus détaillée à l'adresse 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.

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

INTRODUCTION

Le présent document est basé sur SEAFOM Measuring Sensor Performance Document – 02 (SEAFOM MSP-02) [1][1]. Dans le contexte d'une liaison de type C, le SEAFOM a proposé le présent document à titre de nouveau sujet d'étude, qui a ensuite reçu l'approbation des membres participants de l'IEC SC 86C.

NOTE Sauf pour les Figure 1, Figure C.1, Figure C.2 et Figure C.3, toutes les figures du présent document ont été reprises du document SEAFOM MSP-02, soit sous leur forme d'origine, soit sous une forme modifiée, avec l'autorisation du SEAFOM.

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

[1] Les numéros entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

CAPTEURS FIBRONIQUES –

Partie 3-2: Détection acoustique et mesure des vibrations – Détections réparties

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61757 spécifie la terminologie, les paramètres de performance caractéristiques, les méthodes d'essai et de calcul associées, ainsi que le matériel d'essai spécifique pour les unités d'interrogation utilisées dans les systèmes fibroniques répartis de mesure de vibrations et de détection acoustique. Le présent document se réfère uniquement à la méthode de rétrodiffusion de Rayleigh et de détection de phase par réflectométrie optique cohérente dans le domaine temporel sensible à la phase (ϕ-OTDR). Les modes de fonctionnement quasi statiques et à basses fréquences ne sont pas traités dans le présent document.

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 61757:2018, *Capteurs à fibres optiques – Spécification générique*

IEC 61757-2-2:2016, *Capteurs à fibres optiques – Partie 2-2: Mesure de température – Détection répartie*