

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Fibre optic sensors –
Part 7-3: Voltage measurement – Polarimetric method**

**Capteurs fibroniques –
Partie 7-3: Mesure de tension – Méthode polarimétrique**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61757-7-3:2024



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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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 7-3: Voltage measurement – Polarimetric method**

**Capteurs fibroniques –
Partie 7-3: Mesure de tension – Méthode polarimétrique**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 33.180.99

ISBN 978-2-8322-8756-9

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

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	7
4 Components of optical voltage sensor using polarimetric method	9
4.1 General description.....	9
4.2 Classification of Pockels cells	10
5 Characteristic tests.....	11
5.1 General information	11
5.2 Input-to-output characteristics.....	11
5.2.1 General	11
5.2.2 Test methods.....	12
5.2.3 Test procedure	14
5.2.4 Evaluation	16
5.3 Warm-up time	17
5.3.1 General	17
5.3.2 Test method	17
5.3.3 Evaluation	17
5.4 Voltage conditions for obtaining characteristic parameters	17
5.5 Input parameter dependency.....	18
5.5.1 Frequency characteristics.....	18
5.5.2 Transient characteristics.....	19
5.6 External environment dependency	21
5.6.1 Test of the steady state temperature characteristics	21
5.6.2 Test of the transient temperature characteristics	23
5.6.3 Shock and vibration test	26
Annex A (informative) Principle of optical voltage sensor	27
A.1 Outline	27
A.2 Pockels effect	27
A.3 Voltage detection method	29
A.3.1 General	29
A.3.2 Examples of voltage detection method.....	30
Annex B (informative) Features of optical voltage sensor technology	32
Annex C (informative) Design considerations	33
C.1 General information	33
C.2 Performance restricting factors	33
C.3 Procedure for determining the specifications of the equipment.....	34
Annex D (informative) Measurement parameter performance table	36
D.1 General.....	36
D.2 I/O characteristics	36
D.3 Frequency characteristics	37
D.4 Transient characteristics	38
D.5 Steady state temperature characteristics	39
D.6 Transient temperature characteristics	40
D.7 Shock test.....	41

Bibliography	42
Figure 1 – Measurement system using optical voltage sensor	10
Figure 2 – I/O characteristics of a fibre optic voltage sensor	12
Figure 3 – Measurement setup for the waveform comparison method	13
Figure 4 – Measurement setup for the AC bridge method	14
Figure 5 – Transient characteristics of sensors for AC measurements	20
Figure 6 – Transient characteristics of sensors for AC/DC measurements	21
Figure 7 – Configuration example for evaluating the steady temperature and transient temperature characteristics of the sensor part	22
Figure 8 – Example of a temperature profile	23
Figure 9 – Birefringence change during temperature change	24
Figure 10 – Example of temperature program	25
Figure A.1 – Pockels effect	28
Figure A.2 – Configuration of a voltage detection system using the Pockels effect	29
Figure A.3 – Basic configuration of an optical voltage sensor using the intensity modulation method	30
Figure A.4 – Basic configuration of an optical voltage sensor using the interferometric method	31
Figure D.1 – Example of the transient characteristic	38
Figure D.2 – Example of the temperature characteristics at voltage 0	39
Figure D.3 – Example of the temperature characteristics at rated voltage	39
Figure D.4 – Example of the transient temperature characteristics at input voltage 0	40
Figure D.5 – Example of the transient temperature characteristics at rated voltage	40
Figure D.6 – Example of the shock test at voltage 0	41
Figure D.7 – Example of the shock test at rated voltage	41
Table 1 – List of parameters to be obtained	11
Table 2 – Test methods	13
Table 3 – Voltage conditions for obtaining characteristic parameters	18
Table A.1 – Direction of electric field with sensitivity	29
Table D.1 – I/O characteristics	36
Table D.2 – Frequency characteristics	37

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

FIBRE OPTIC SENSORS –

Part 7-3: Voltage measurement – Polarimetric method

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 61757-7-3 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/1873/CDV	86C/1893/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 61757-7-3:2024

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 of the fibre optic sensor. The IEC 61757-7-*T* series is concerned with voltage measurements.

Voltage measuring techniques are essential for controlling and diagnosing apparatus that support industry and society. Optical voltage sensors based on electro-optic effects have been developed to serve as voltage measuring devices. These sensors enable advanced voltage measurements without encountering the issues related to conventional electrical voltage sensors. Hence, they have been applied in various fields including power systems.

Given the expected potential of this new fibre optic voltage sensing technology, several kinds of optical voltage sensors covering a wide range of applications have been developed by various manufacturers. The design of these voltage sensors depends on the specific application, which determines the target voltage to be measured, the configuration of the sensor, the signal processing method, and the installation method. When developing a new optical voltage sensor, the sensor performance and characteristics have to be specified and evaluated.

To facilitate the use of fibre optic voltage sensors, it is important to define terms that characterize the performance and functionality of these sensors. It is also important to clearly specify how these specifications can be evaluated. Clearly defined terms and evaluation procedures help to develop more efficient sensors and to smoothly transfer this new sensor technology from the suppliers to the users. This document defines a set of methods for evaluating the performance and characteristics of fibre optic voltage sensors. However, this document does not quantify any performance targets, because these depend on the specific application of the sensor. It is nevertheless expected that this document helps to define specific quantitative targets for the sensor performance when a fibre optic voltage sensor is developed for a given practical application.

This document is based on the standard OITDA FS 02 [1]¹ published by the Optoelectronic Industry and Technology Development Association (OITDA). All the figures and tables in this document are identical to those in OITDA FS 02 except for the translation from Japanese to English.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

FIBRE OPTIC SENSORS –

Part 7-3: Voltage measurement – Polarimetric method

1 Scope

This part of IEC 61757 defines the terminology, structure, and performance characteristics of fibre optic voltage sensors using a polarimetric measurement method. The document specifies test methods and procedures for measuring key performance parameters of these sensors. It addresses only the voltage sensing element and not the additional devices that are unique to each application.

The document does not specify the required performance values of optical polarimetric fibre optic voltage sensors, because these specifications depend on the designated application of the sensor and are typically defined by the user of the sensor. The required performance values are usually defined when designing a sensor for a specific application.

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, *Fibre optic sensors – Generic specification*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 61757 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

electro-optic effect

change in the optical characteristics of a material under the influence of an electric field

Note 1 to entry: Pockels and Kerr effects are examples of electro-optic effects.

Note 2 to entry: Electro-optic is often erroneously used as a synonym for opto-electronic.

Note 3 to entry: The most common effect results in a change in refractive index.

[SOURCE: IEC 60050-731:1991, 731-01-42]

3.2

intensity modulation method

method of converting birefringence information into light intensity by passing light through a wave plate, a Pockels cell, and a polarization separation element in this order, and creating an optical signal corresponding to the measured voltage

3.3

interferometric method

method in which two orthogonal linearly polarized light components are passed through a Pockels cell and then converted into the same polarization state, so that they interfere with each other and are converted into light intensity to create an optical signal corresponding to the measured voltage

3.4

maximum measurable frequency

highest frequency of voltage variations that can be measured by an optical voltage sensor

3.5

maximum measurable voltage

largest voltage that can be measured by an optical voltage sensor

3.6

minimum measurable frequency

lowest frequency of voltage variations that can be measured by an optical voltage sensor

3.7

operating temperature range

range of temperature within which an optical voltage sensor shall satisfy the defined performance

3.8

optical activity

property of rotating the plane of polarization

3.9

optical part

part consisting of lens, prism, mirror, and optical element, like a phase modulator, in an optical voltage sensor

Note 1 to entry: While the term "sensor part" focuses on the component position (see Clause 4), the term "optical part" focuses on the component materials.

3.10

optical voltage sensor

component, module, subassembly, assembly, or device that can detect voltage using the Pockels effect

Note 1 to entry: The optical voltage sensor consists of a sensor unit, an optical transmission unit, and a signal processing unit (see Clause 4).

3.11

photo-conductivity

photo-electric effect characterized by a variation of electrical conductivity

[SOURCE: IEC 60050-731:1991, 731-01-62]

3.12

piezoelectric effect

generation of an electric field in response to an applied mechanical stress or generation of a stress in response to an applied electric field

Note 1 to entry: A more complete definition is given in IEC 60050-121:1998, 121-12-86.

3.13**Pockels coefficient**

coefficient that indicates the difference in the refractive indexes of the birefringence that occurs in response to the electric field applied to the substance

Note 1 to entry: See Annex A for details.

3.14**Pockels effect**

electro-optic effect in which an applied electric field makes an optically isotropic substance birefringent, the difference of refractive indexes being proportional to the magnitude of the electric field strength

[SOURCE: IEC 60050-121:1998, 121-12-94]

3.15**rated voltage**

rated value of the voltage assigned by the manufacturer to a component, device, or equipment and to which operation and performance characteristics are referred

3.16**required specifications**

list of specifications an optical voltage sensor shall satisfy

3.17**transient characteristics**

phenomena of changing the voltage value that is output from an optical voltage sensor when the voltage to be measured deviates from the defined voltage value over a short period of time

3.18**voltage divider**

device comprising resistors, inductors, capacitors, or a combination of these components such that, between two points of the device, a desired fraction of the voltage applied to the device can be obtained

Note 1 to entry: A voltage divider acquires part of the voltage applied to the entire device between two points of the device.

[SOURCE: IEC 60050-312:2001, 312-02-32, modified – Removed "transformer(s)" from definition and added Note 1 to entry]

3.19**warm-up time**

duration between the instant after which the power supply is energized and the instant when the measuring instrument may be used, as specified by the manufacturer

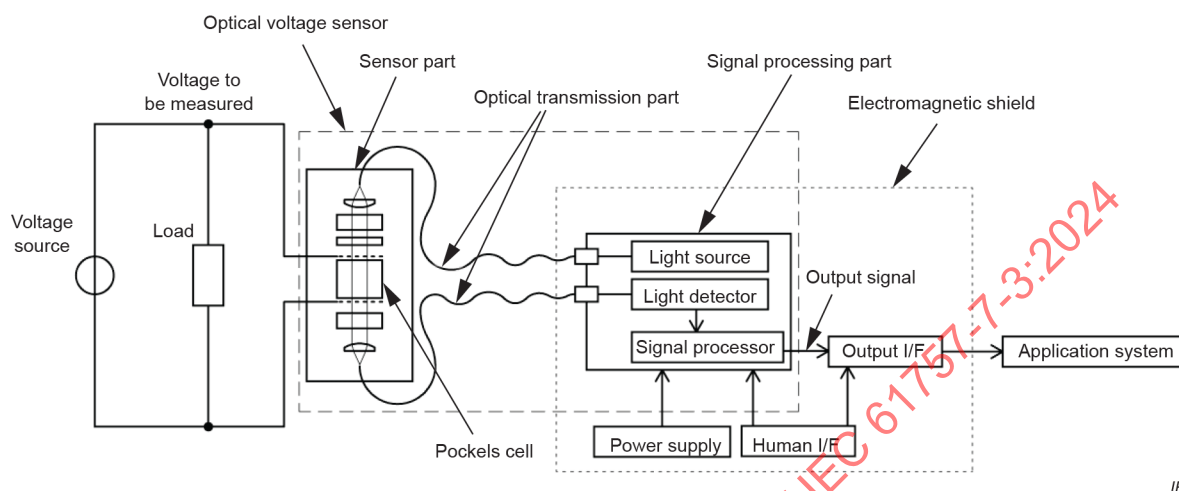
[SOURCE: IEC 60050-311:2001, 311-03-18]

4 Components of optical voltage sensor using polarimetric method

4.1 General description

Figure 1 shows a schematic diagram of the various elements of which an optical voltage sensor is composed. In this document, the optical voltage sensor is divided into three parts: a sensor part, an optical transmission part, and a signal processing part. Each of these parts can be exposed to different physical environments.

The sensor part of the optical voltage sensor contains a Pockels cell that is connected to two electric conductors whose voltage difference is to be measured. It is connected via two optical fibres to the signal processing part, which calculates the voltage measured by the sensor part. While the sensor part is placed adjacent to the electric conductors, the signal processing part is generally placed in a remote location and thus exposed to a different environment than the sensor part.



Source: OITDA FS 02 [1], reproduced with the permission of the Optoelectronic Industry and Technology Development Association (OITDA).

Figure 1 – Measurement system using optical voltage sensor

The optical fibres that connect the sensor part to the signal processing part is called the optical transmission part.

The light source for generating the optical signal transmitted to the sensor part via optical fibre is typically included in the signal processing part. Likewise, the light detector for receiving the optical signal transmitted from the sensor part via optical fibre is included in the signal processing part, which also contains the power supplies.

More details on the specific functions of each part can be found in Annex A.

NOTE The sensor part can include elements for controlling polarization and phase of the optical signal, and a voltage divider for adjusting the voltage applied to the Pockels cell. The signal processing part can have elements for controlling polarization and phase of the optical signal, in addition to the light source, power supply, and light detector.

A component, module, subassembly, assembly, or device that comprises a sensor part with a Pockels cell, an optical transmission part, and a signal processing part is called an optical voltage sensor.

See Annex B for more details on the specific features of polarimetric fibre optic voltage sensors and Annex C for design considerations and performance specifications.

4.2 Classification of Pockels cells

Pockels cells can be divided into two classes. Some Pockels cells have longitudinal modulation elements in which the light transmission direction and the voltage application direction are parallel, whereas other Pockels cells have transverse modulation elements in which the light transmission direction and the voltage application direction are orthogonal to each other.

More details on the operation of Pockels cells can be found in Annex A.

5 Characteristic tests

5.1 General information

Clause 5 specifies a characteristic test method for the optical voltage sensor. The input-to-output (I/O) characteristics are described in 5.2 and are the basis of the test. Subclause 5.3 describes the warm-up time, which is not considered in conventional voltage sensors. Subclause 5.5 defines the input parameter dependency for each test method and 5.6 the external environment dependency.

Subclause 5.4 describes the voltage conditions for obtaining characteristic parameters. The parameters to be obtained are listed in Table 1, which specifies for each parameter whether tests are required or optional. The measurement results are summarized in an inspection report (see Annex D) and shown to the user.

Table 1 – List of parameters to be obtained

No.	Parameters			Required or optional
1	I/O characteristics			Required
2	Warm-up time			Required
3	Parameter dependency	Input parameter dependency	Frequency characteristic	Required for type test
			Transient characteristic	Required for type test
		External environment dependency	Steady state temperature characteristic	Required for type test Optional for routine test for outdoor use sensors
			Transient temperature characteristic	Required for type test Optional for routine test for outdoor use sensor
			Shock and vibration	Optional

5.2 Input-to-output characteristics

5.2.1 General

The I/O characteristics are the most basic performance parameters of optical voltage sensors. Figure 2 shows the I/O characteristics of a typical fibre optic voltage sensor. Ideally, the voltage to be measured is the same as the output voltage reported by the sensor. In practice, the output voltage can deviate from the voltage to be measured, thus resulting in a measurement error. These errors are caused by the following three factors:

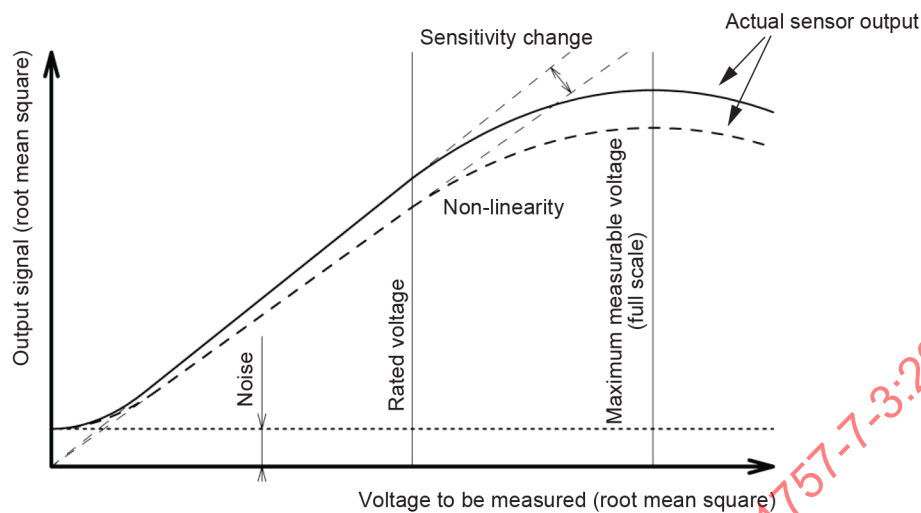
- a) noise,
- b) sensitivity change,
- c) non-linearity.

There are two types of noise. In some cases, the noise is correlated with the voltage to be measured, and in other cases it is not. Therefore, these two types of noise shall be characterized separately. DC offsets in the output voltage should be distinguished from noise.

Sensitivity change is a variation in the proportionality between reported output voltage and the voltage to be measured.

Non-linearity is the phenomenon that the sensitivity of the voltage sensor changes as a function of voltage to be measured, so that the relationship between the reported output voltage and the voltage to be measured deviates from a straight line.

Figure 2 illustrates the effects of noise, sensitivity change, and non-linearity on the reported output voltage.



IEC

Source: OITDA FS 02 [1], reproduced with the permission of OITDA.

Figure 2 – I/O characteristics of a fibre optic voltage sensor

The errors resulting from noise, sensitivity change, and nonlinearities, should be accounted for separately because they are affected differently by environmental changes, such as temperature changes (see 5.6.1) and vibration (see 5.6.3). In general, the output voltage of a sensor saturates when the voltage to be measured exceeds a certain value, which is marked as maximum measurable voltage in Figure 2. The manufacturer of an optical voltage sensor specifies the maximum measurable voltage below the value at which the output voltage no longer increases with input voltage, and defines said value in the specifications. The manufacturer also determines the rated voltage (see Figure 2) as the largest voltage that can be measured without being affected by saturation, and defines it in the sensor specifications.

Due to the impacts of noise, sensitivity change, and non-linearity, the actual sensor output voltage varies between the black solid curve and the black dashed curve in Figure 2.

5.2.2 Test methods

5.2.2.1 General

Table 2 provides a list of test methods for characterizing measurement errors caused by noise, sensitivity change, and non-linearity of the optical voltage sensor. In general, the tests shall be performed by a waveform comparison method, using a waveform recording device, like an oscilloscope. However, when testing non-linearities of 1 % or less with an analogue output, and if sufficient accuracy is not achieved with a waveform recording device, the bridge method can be applied in addition to the waveform comparison method. When a photo-conductive Pockels cell is used (see 3.11), the effects of ambient light should be considered, like the lighting present in the use environment. All equipment used shall be calibrated before the test according to the manufacturer's instructions.

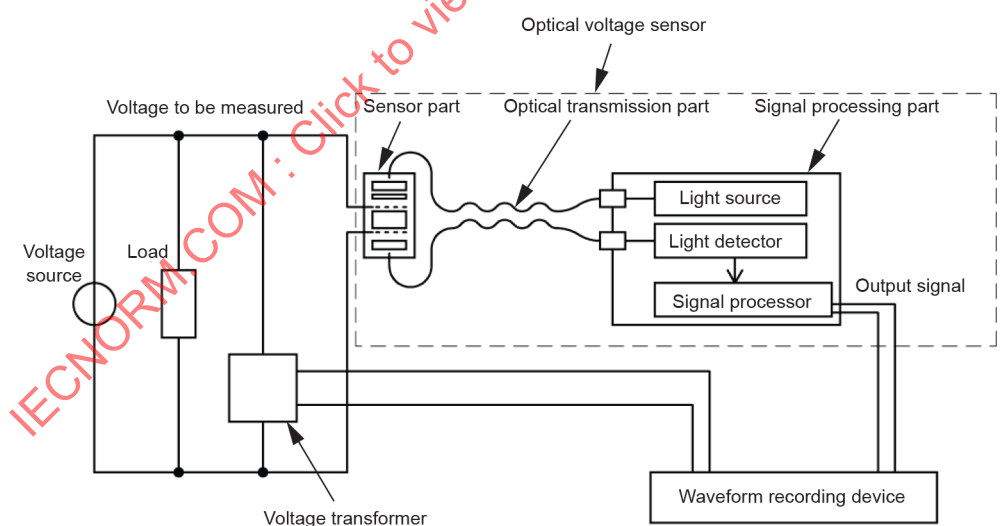
Table 2 – Test methods

Items	In the case of digital output	In the case of analogue output	
	General measurement	General measurement	High accuracy measurement
Noise	Waveform comparison method	Waveform comparison method	Not applicable
Sensitivity change	Waveform comparison method	Waveform comparison method	Bridge method
Non-linearity	Waveform comparison method	Waveform comparison method	Bridge method

Subclause 5.2.2.2 describes an exemplary test configuration for the waveform comparison method, and 5.2.2.3 describes an exemplary test configuration for the AC bridge method.

5.2.2.2 Waveform comparison method

Figure 3 shows an example of the test configuration used for the waveform comparison method. A voltage transformer or a voltage divider can be used to generate a voltage standard for comparison. Figure 3 shows the example of a voltage transformer. The voltage measured directly at the output of the voltage transformer and the voltage measured by the optical voltage sensor are recorded in a waveform recording device, such as an oscilloscope or a data logger. The voltage transformer or voltage divider and the waveform recording device should have sufficiently accurate response in the tested frequency band. The measured waveforms shall be recorded as digital data in order to calculate errors and phase differences as described in 5.2.4. To avoid aliasing errors in the digitization, an anti-alias filter that attenuates signals other than the measuring frequency band of the waveform recording device shall be installed before the waveform recording device.



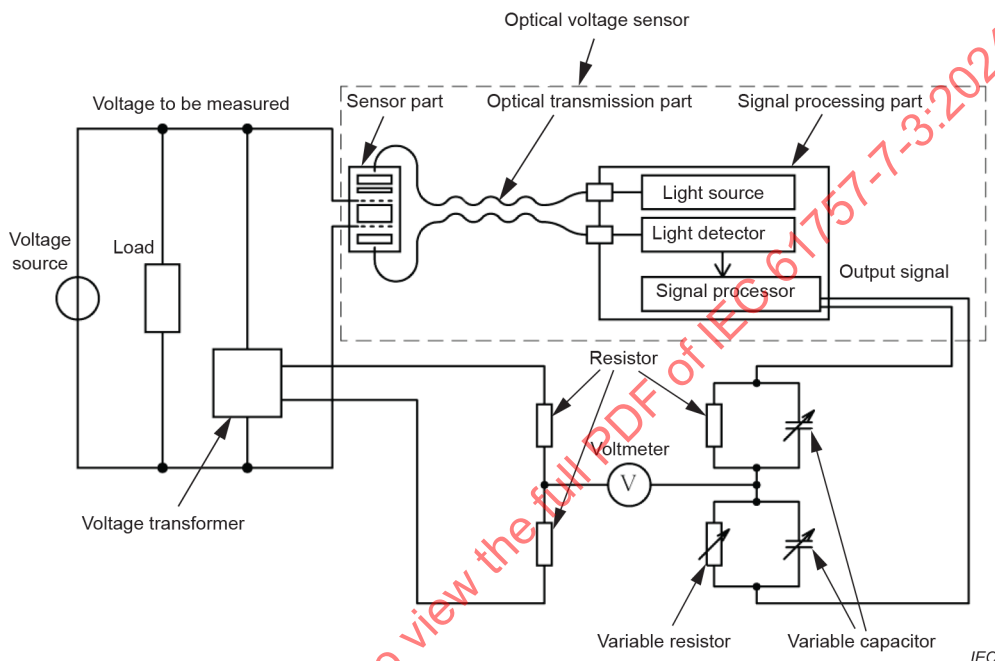
IEC

Source: OITDA FS 02 [1], reproduced with the permission of OITDA.

Figure 3 – Measurement setup for the waveform comparison method

5.2.2.3 AC bridge method

If the accuracy of the waveform recording device is insufficient, a bridge method should be used concurrently. Figure 4 shows an example of a test configuration for the case of an optical voltage sensor with analogue voltage output. A voltage transformer or a voltage divider can be used as a voltage standard for comparison. In Figure 4, the bridge includes adjustable resistors and capacitors on the voltage sensor side to balance the impedance of the voltage transformer side. Sensitivity changes of the optical voltage sensor are detected by a voltmeter, which measures the deviation of the bridge circuit from the equilibrium point. Only sensitivity changes and non-linearities, as described in 5.2.1, can be measured with this method. The noise shall be characterized with the waveform comparison method described in 5.2.2.2.



Source: OITDA FS 02 [1], reproduced with the permission of OITDA.

Figure 4 – Measurement setup for the AC bridge method

5.2.3 Test procedure

5.2.3.1 Sensors for AC or AC/DC measurements

The waveform comparison method characterizes the noise, sensitivity change, and non-linearity of the sensor, as described in 5.2.1, by comparing the waveform obtained from the voltage standard with the output waveform of the optical voltage sensor. This comparison is conducted at several levels of the voltage to be measured, ranging from zero to the maximum measurable voltage. This comparison is conducted at the voltage levels listed below.

a) At zero voltage:

Noise measurement only. The noise intensity should be characterized as a function of frequency using a suitable frequency analysis tool (e.g. fast Fourier transform), preferably the frequency analysis function of an oscilloscope. It is highly likely that the frequency component of the voltage to be measured and its harmonics adversely affect the system.

- b) At the noise equivalent voltage and at approximately twice the noise equivalent voltage:
- 1) Separate the noise into a component that is correlated with the voltage to be measured and one that is not correlated with the voltage.
 - 2) Noise that does not correlate with the measured voltage is reduced by averaging a large number of waveforms obtained from the waveform recording device (e.g. oscilloscope).
 - 3) Noise that correlates with the measured voltage is not affected by averaging the waveforms obtained from the waveform recording device.
 - 4) Record the waveforms obtained from the waveform recording device with and without averaging.
- c) At several voltages between the voltage that are approximately twice the noise equivalent voltage and the rated voltage.
- This allows accurate measurement of sensitivity changes.
- d) At several voltages between the rated voltage and the maximum measurable voltage.
- This allows accurate measurement of non-linearities.

The waveforms acquired by the waveform recording device are approximated by sinusoids, using the least squares method to determine the amplitude and phase of the recorded waveform. The function used for the sinusoidal approximation of the waveform obtained from the voltage standard is shown in Formula (1), and the function used for the sinusoidal approximation of the waveform of the optical voltage sensor output is shown in Formula (2).

$$v_I = V_I \sin(\omega t + \theta_I) + V_{DCI} \quad (1)$$

where

- v_I is the voltage to be measured, obtained from the voltage standard,
- V_I is the amplitude of the AC component of the voltage to be measured,
- V_{DCI} is the DC component of the voltage to be measured,
- ω is the angular frequency of the voltage to be measured,
- θ_I is the phase of the voltage to be measured.

$$v_O = V_O \sin(\omega t + \theta_O) + V_{DCO} \quad (2)$$

where

- v_O is the optical voltage sensor output,
- V_O is the amplitude of the AC component of the optical voltage sensor output,
- V_{DCO} is the DC component of the optical voltage sensor output,
- ω is the angular frequency of the voltage to be measured (which is equal to the angular frequency of optical voltage sensor),
- θ_O is the phase of the optical voltage sensor output.

5.2.3.2 Sensors for DC measurement

To characterize the noise, sensitivity change and non-linearity, as described in 5.2.1, the waveform of the standard for comparison shall be compared with the output waveform of the optical voltage sensor at several levels of the voltage to be measured. This comparison is conducted at the voltage levels listed below.

- a) At zero voltage to be measured.

Determine the offset in the optical voltage sensor output from the average value of the waveform obtained from the optical voltage sensor output at zero voltage.

- b) At several voltages between the voltage that is approximately twice the noise equivalent voltage and the rated voltage.

This allows accurate measurement of sensitivity changes.

- c) At several voltages between the rated voltage and the maximum measurable voltage.

This allows accurate measurement of non-linearities.

5.2.4 Evaluation

5.2.4.1 Sensors for AC or AC/DC measurement

The input/output characteristic test shall be performed by comparing the error, phase difference, and noise of the optical voltage sensor output with the required specifications.

- a) Error

Errors should be expressed as the full-scale error defined in Formula (3). Other notation methods may be used as necessary.

$$\varepsilon_{FS} = \frac{V_O - V_I}{V_{FS}} \quad (3)$$

where

ε_{FS} is the full-scale error,

V_I is the amplitude of the voltage to be measured,

V_O is the amplitude of the optical voltage sensor output,

V_{FS} is the maximum measurable voltage.

- b) Phase difference

The phase difference δ between the voltage to be measured and the optical voltage sensor output is obtained from Formula (4), where θ_O and θ_I are obtained from the approximation functions shown in Formula (1) and Formula (2), respectively.

$$\delta = \theta_O - \theta_I \quad (4)$$

where

θ_O is the phase of the optical voltage sensor output,

θ_I is the phase of the voltage to be measured.

- c) Noise

The effective value of the optical voltage sensor output at zero voltage to be measured is defined as the equivalent input noise voltage.

The characteristics of the anti-alias filter used shall be specified in the test report.

5.2.4.2 Sensors for DC measurements

The test of the I/O characteristics shall be performed by comparing the error of the optical voltage sensor output with the required specifications.

Errors should be expressed as the full-scale error defined in Formula (5). Other notation methods may be used as necessary.

$$\varepsilon_{\text{FS}} = \frac{V_{\text{ODC}} - V_{\text{IDC}}}{V_{\text{FS}}} \quad (5)$$

where

ε_{FS} is the full-scale error,

V_{IDC} is the average value of the voltage to be measured,

V_{ODC} is the average value of the optical voltage sensor output,

V_{FS} is the maximum measurable voltage.

5.3 Warm-up time

5.3.1 General

An optical voltage sensor usually does not meet the required specifications until a certain period of time has elapsed after the power supply was turned on, which is known as the warm-up time. The warm-up time is listed in the required specifications of the optical voltage sensor to clearly indicate that the required performance is not fulfilled until such time has elapsed.

5.3.2 Test method

At zero voltage to be measured and at the rated voltage, the power source of the optical voltage sensor is turned on, and the optical voltage sensor output is tested after the warm-up time has elapsed.

5.3.3 Evaluation

The warm-up time test is performed by comparing the error and the phase of the optical voltage sensor output with the required specifications.

5.4 Voltage conditions for obtaining characteristic parameters

The voltage conditions for measuring the characteristic parameters of the voltage sensor are shown in Table 3.

Table 3 – Voltage conditions for obtaining characteristic parameters

Dependency	Characteristics	Optical voltage sensor output at zero voltage	Sensitivity and phase at rated voltage	Sensitivity and phase at maximum measurable voltage	Subclause describing test method
Input parameter	Frequency characteristics	Not applicable	Recommended	Recommended	5.5.1
	Transient characteristics	Not applicable	Recommended	Recommended	5.5.2
External environment	Steady state temperature characteristics	Recommended	Recommended	Recommended	5.6.1
	Transient temperature characteristics	Recommended	Recommended	Not applicable	5.6.2
	Shock and vibration	Recommended	Recommended	Not applicable	5.6.3

5.5 Input parameter dependency

5.5.1 Frequency characteristics

5.5.1.1 General

The frequency response of the optical voltage sensor depends on the frequency characteristics of the sensor part, the optical transmission part, and the signal processing part. The frequency response of the sensor part is not always flat due to vibrations caused by the piezoelectric effect of the Pockels cell. The optical transmission part generally has a flat frequency response over a wider range of frequencies than the sensor part and the signal processing part. When using a filter for either noise elimination or prevention of folding errors due to aliasing in digital sampling, or both, the frequency response of the signal processing part depends on the bandwidth of this filter.

5.5.1.2 Test method

In the test configuration shown in Figure 7, the output signal of the signal processing part is measured at several frequencies (e.g. at 10 different frequencies) between the minimum measurable frequency and the maximum measurable frequency, while keeping the voltage to be measured constant. The voltage to be measured should be set to the rated voltage and the maximum measurable voltage. If the rated voltage or the maximum measurable voltage cannot be generated due to limitations of the test equipment, the voltage to be measured shall be specified in the test report.

5.5.1.3 Evaluation

The frequency characteristics of the sensor are evaluated by comparing the measurement error and the phase at the output of the signal processing part with the required specifications.

5.5.2 Transient characteristics

5.5.2.1 Purpose

The transient characteristics of the optical voltage sensor define the time it takes the output of the signal processing part to return to the steady state value after the voltage to be measured is abruptly increased or decreased. It is desirable to use a step response for measuring the transient characteristics. As described in 5.5.1, the optical transmission unit generally has a flat response over a wider range of frequencies than the sensor unit and the signal processing unit, whereas the sensor unit and the signal processing unit usually exhibit a narrower frequency response. The following performance parameters shall be measured when determining the transient characteristics:

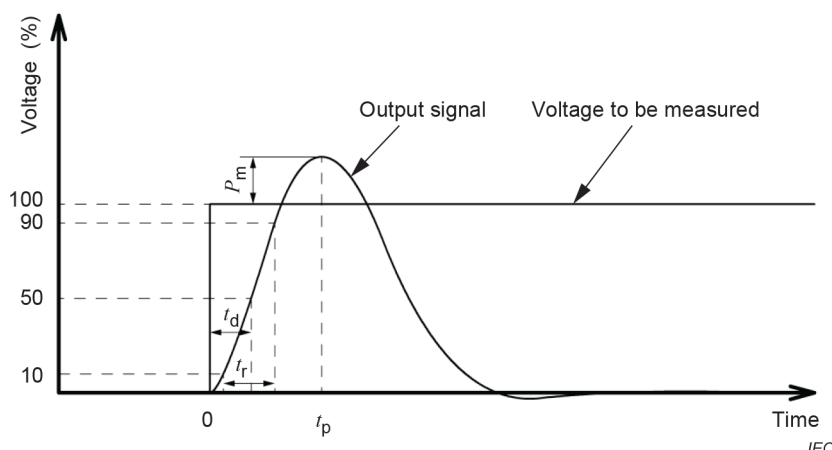
- rise time t_r ,
- delay time t_d ,
- peak time t_p ,
- settling time t_s ,
- overshoot P_m .

5.5.2.2 Test method

The method used for testing the transient characteristics of sensors for AC measurements differs from the method used for testing the transient characteristics of sensors for AC/DC measurements. The transient characteristics of these two sensor types and the corresponding test methods are illustrated in Figure 5 and Figure 6.

a) Sensor for AC measurements

Figure 5 shows an example of the transient characteristics of a sensor for AC measurements. When the step waveform is applied at the input to the sensor part, the output of the signal processing part first rises, following the step waveform, but then decreases and eventually converges to zero. The transient characteristics of the sensor shall be evaluated by measuring the rise time, the delay time, the peak time, and the overshoot. The rise time is defined as the time during which the output of the signal processor changes from 10 % to 90 % of the step waveform. The delay time is defined as the time during which the output of the signal processor changes from 0 % to 50 % of the step waveform (see Figure 5).



Source: OITDA FS 02 [1], reproduced with the permission of OITDA.

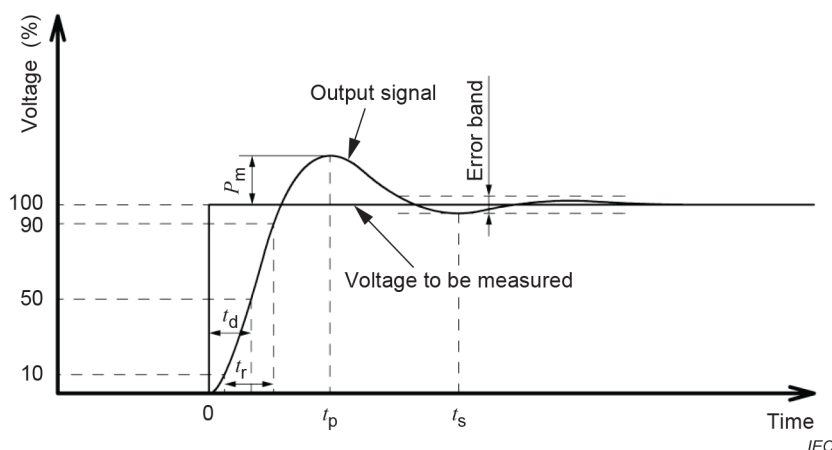
Key

- t_r rise time
- t_d delay time
- t_p peak time
- P_m overshoot

Figure 5 – Transient characteristics of sensors for AC measurements

b) Sensor for AC/DC measurements

Figure 6 shows an example of the transient characteristics of a sensor for AC/DC measurements, where the voltage to be measured can be both an AC and DC voltage. When a step waveform is applied at the input to the sensor part of this type of sensor, the output of the signal processing part first rises, following the step waveform, and eventually converges to the same value as that of the step waveform. The transient characteristics shall be evaluated by measuring the rise time, the delay time, the peak time, the settling time, and the overshoot (see Figure 6). The method for calculating the rise time and the delay time is the same as that for the AC voltage sensor.



Source: OITDA FS 02 [1], reproduced with the permission of OITDA.

Key

- t_r rise time
- t_d delay time
- t_p peak time
- t_s settling time
- P_m overshoot

Figure 6 – Transient characteristics of sensors for AC/DC measurements

5.5.2.3 Evaluation

The transient characteristics of the optical voltage sensor are evaluated by comparing the rise time, delay time, peak time, settling time, and overshoot amount with the required specifications.

5.6 External environment dependency

5.6.1 Test of the steady state temperature characteristics

5.6.1.1 General

To evaluate the performance of the optical voltage sensor within the operating temperature range, a steady state test of the temperature characteristics shall be performed.

5.6.1.2 Parts to be tested

The temperature characteristics of the sensor part and the signal processing part shall be tested separately.

a) Sensor part

The Pockels coefficient of the Pockels cell depends on temperature. In addition, when an optical crystal with optical rotation is used as the Pockels cell, the optical rotation also depends on temperature.

A test is carried out to confirm that the required specifications are satisfied within the operating temperature range. There are some cases where the temperature dependence of the optical elements in the optical part is too large to be ignored.

b) Optical transmission part

The test is carried out if the temperature characteristics of the optical transmission part can affect the required specifications of the optical voltage sensor. For example, when polarization-maintaining fibres are applied to the optical transmission part, there is a concern that the polarization crosstalk increases in either high-temperature or low-temperature environments, or both, thereby affecting the performance of the optical voltage sensor. It is desirable that the length of the optical transmission part be matched to the maximal transmission distance expected in the practical application of the sensor.

c) Signal processing part

The performance of electric and electronic circuits often exhibits temperature dependence. It is also known that output power and wavelength of the light source can depend on temperature. Moreover, the dark current and sensitivity of the light detector can depend on temperature. Since thermal noise increases with temperature, attention shall be paid to potential noise increase in high-temperature environments.

5.6.1.3 Test configuration

Figure 7 shows an example of a test setup for evaluating the steady temperature characteristics and the transient temperature characteristics of the sensor part. Requirements for test equipment and test conditions are as follows.

a) Temperature chamber

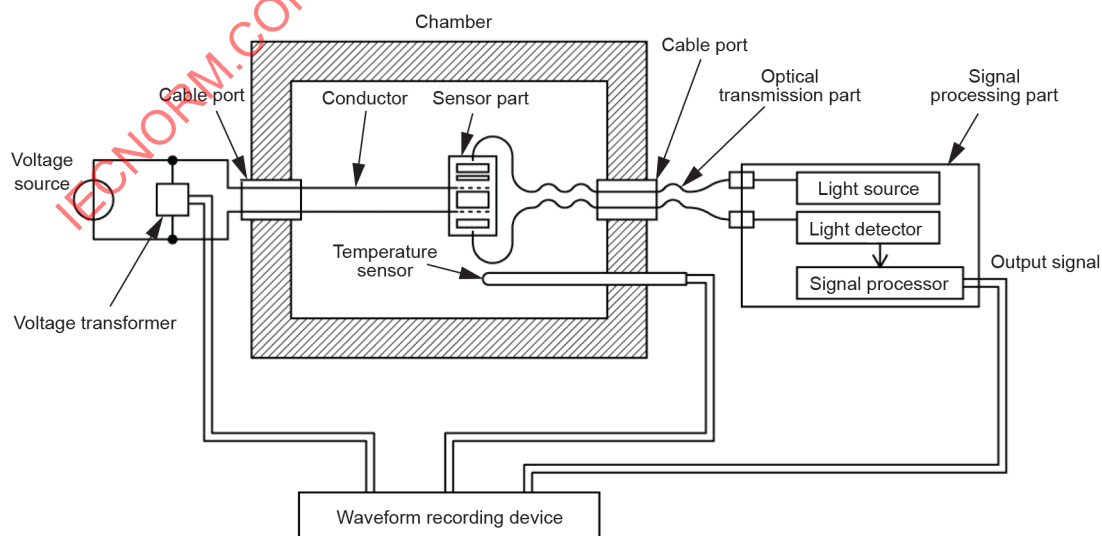
The temperature chamber shall be large enough to house the test object in its installed state. When testing the sensor part, the optical transmission part or the signal processing part, the chamber shall have a cable hole for passing the optical transmission part, the voltage conductor, and other electrical cables.

b) Test voltage

The sensor part and the optical transmission part shall be tested at the rated voltage. The signal processing part shall be tested at the rated voltage and at zero voltage. If the rated voltage cannot be supplied due to test setup constraints, a test voltage sufficiently larger than the equivalent noise input shall be supplied. A single frequency AC voltage shall be applied that is within the frequency band specified for the sensor. The test voltage and test frequency shall be specified in the test report.

c) Voltage source

It is recommended to use a constant voltage power supply.



IEC

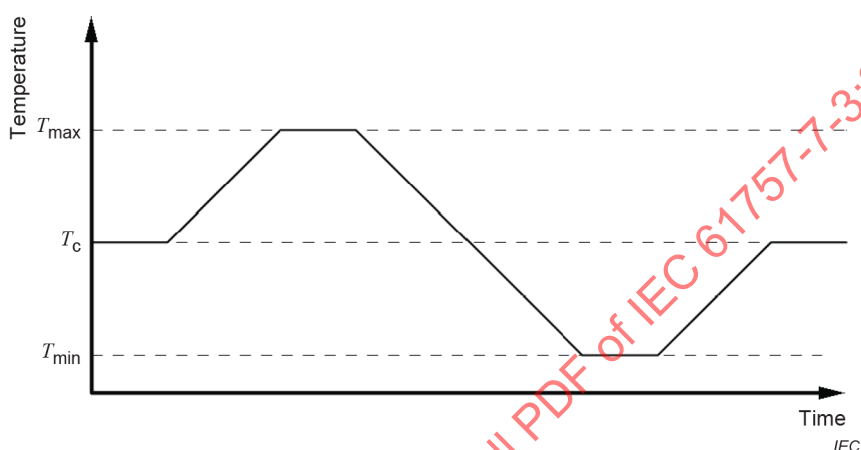
Source: OITDA FS 02 [1], reproduced with the permission of OITDA.

Figure 7 – Configuration example for evaluating the steady temperature and transient temperature characteristics of the sensor part

5.6.1.4 Test method

The test temperature shall be set to a fixed value between 15 °C and 35 °C (denoted T_c), to the upper limit of the operating temperature (denoted T_{max}), and to the lower limit of the operating temperature (denoted T_{min}).

The test temperature and the temperature change rate shall be determined by the manufacturer and the user of the sensor. A temperature change rate of 1 °C/min or less is recommended. The temperature shall be kept constant for longer than the thermal time constant of the test object before performing the measurements. Figure 8 shows an example of possible temperature variations (also known as the temperature profile).



Source: OITDA FS 02 [1], reproduced with the permission of OITDA.

Key

T_c any point between 15 °C and 35 °C

T_{max} upper limit of operating temperature

T_{min} lower limit of operating temperature

Figure 8 – Example of a temperature profile

5.6.1.5 Evaluation

The steady state temperature characteristics are evaluated by measuring the error and the phase difference of the optical voltage sensor output in the operating temperature range and comparing the results with the required specifications.

5.6.2 Test of the transient temperature characteristics

5.6.2.1 General

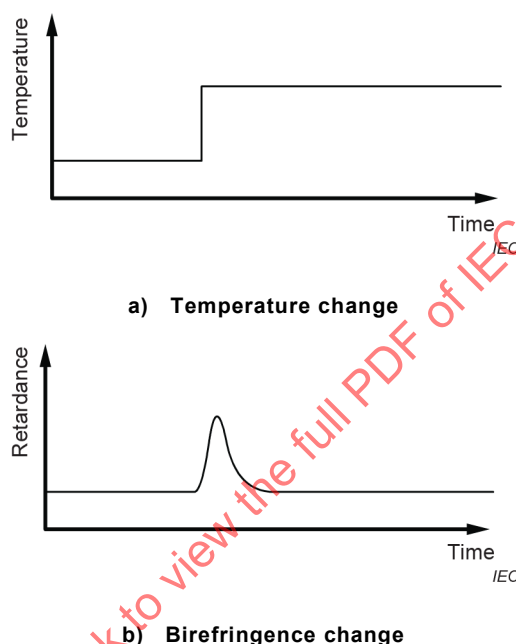
When the ambient temperature of the sensor part changes, the temperature distribution inside the sensor part can become non-uniform. If this happens, the polarized light can be influenced by thermal effects in the properties of the optical materials, like photoelasticity, which in turn can impact the optical voltage sensor output, thus leading to measurement errors. Thermal changes can also generate electric charges due to the pyro-electric effect, which can also lead to measurement errors. In addition, when the temperature characteristics of the optical element and the electronic circuit is compensated by using a temperature sensor for adaptive adjustment, there is a concern that the temperature at the measurement point differs from that of the optical element and the electronic circuit. When the optical voltage sensor is used in an environment with varying temperature, it is not sufficient to test the temperature characteristics under steady state conditions only (i.e. with a uniform temperature distribution). Therefore, the dynamic temperature characteristics shall be tested.

5.6.2.2 Parts to be tested

When the environmental temperature of the signal processing part, the light transmission part, or the sensor part changes by significant amounts, the transient temperature characteristics of these elements shall be measured separately.

a) Sensor part

The sensor part is placed in the temperature chamber. Then, the temperature of the chamber is changed at a rate that corresponds to the rate encountered in the actual use environment, as shown in Figure 9 a). While the temperature of the chamber is changed, the optical voltage sensor output is measured, as shown in Figure 9 b). When the temperature changes in the sensor part, the birefringence of the optical elements can sharply increase (or decrease), which can lead to potentially large measurement errors.



Source: OITDA FS 02 [1], reproduced with the permission of OITDA.

Figure 9 – Birefringence change during temperature change

b) Light transmission part

This part is tested if a polarization-maintaining optical fibre or a spun optical fibre is used for the optical transmission part.

c) Signal processing part

This part is tested if it includes an adjustment function for compensating environmental temperature changes.

5.6.2.3 Test configuration

Figure 7 shows an example of a test configuration for evaluating the steady temperature characteristics and the transient temperature characteristics of the sensor part. The requirements for test equipment and test conditions are as follows.

a) Temperature chamber

The temperature chamber shall be large enough to house the test object in an installed state. When a steep temperature change is required, the chamber should use a two-bath type thermal shock test apparatus, but a single-tank type thermal shock test apparatus is acceptable if a sufficient temperature change can be obtained. When testing each of the sensor parts, the optical transmission part or the signal processing part, the chamber shall have a cable hole for passing the light transmission section and the conductor.

b) Test voltage

The sensor part and the optical transmission part are tested at the rated voltage. The signal processing part is tested at the rated voltage and at zero voltage. A single frequency AC voltage is applied, whose frequency is within the frequency band specified for the sensor. The test voltage and the test frequency shall be specified in the test report.

c) Voltage source

It is recommended to use a constant voltage power supply.

5.6.2.4 Test method

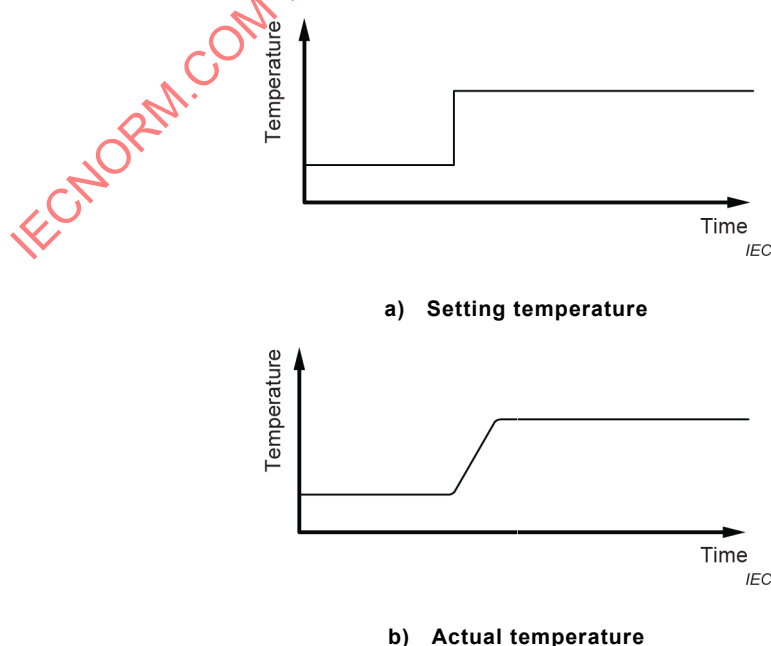
The test is performed at the upper and lower limits of the operating temperature range.

The rate of the temperature change shall be higher than that expected under actual use conditions.

The test temperature shall be set first to a certain value and then changed to another value, as specified below. Additional test temperatures, if any, shall be agreed upon by the manufacturer and the user of the sensor. The test temperature shall be changed as follows.

- From an arbitrary value between 15 °C and 35 °C to the upper limit of the operating temperature range.
- From an arbitrary value between 15 °C and 35 °C to the lower limit of the operating temperature range.
- From the upper limit of the operating temperature range to an arbitrary value between 15 °C and 35 °C.
- From the lower limit of the operating temperature range to an arbitrary value between 15 °C and 35 °C.

The test temperature shall be maintained at the start and end values for a certain duration to stabilize the temperature in the temperature chamber before and after the temperature change. The output of the optical voltage sensor is continuously measured from the time, starting when the temperature of the test object becomes stable before the temperature change and ending at the time when the temperature of the test object becomes stable after the temperature change. Figure 10 shows an example of the temperature changes.



Source: OITDA FS 02 [1], reproduced with the permission of OITDA.

Figure 10 – Example of temperature program

5.6.2.5 Evaluation

The temperature transient characteristics shall be evaluated by measuring the maximal error and phase difference of the optical voltage sensor output value during the temperature changes and by comparing the results with the required specifications.

5.6.3 Shock and vibration test

5.6.3.1 General

Shock and vibration tests should be conducted, because the optical voltage sensor can be exposed to shock and vibrations during normal operation.

5.6.3.2 Test method

The test is performed by measuring changes of the optical voltage sensor output value when shock and vibration is applied to the sensor part, the optical transmission part, and the signal processing part. The shock and vibration test conditions are set considering the actual use environment. The voltages to be measured are the rated voltage and zero voltage. General information about shock and vibration tests can be found in IEC 61300-2-1 [2] and IEC 61300-2-9 [3].

The shock and vibration tests applied to each part should be as follows:

- a) sensor part
 - shock test
 - vibration test
- b) optical transmission part
 - shock test
- c) signal processing part
 - shock test
 - vibration test

5.6.3.3 Evaluation

The shock and vibration tests are evaluated by measuring the error of the optical voltage sensor output at the time when the shock and vibration is applied and by comparing the results with the required specifications.

Annex A (informative)

Principle of optical voltage sensor

A.1 Outline

Annex A provides more details about the Pockels effect, which is the underlying principle for voltage detection within the fibre optic voltage sensor. Also, the voltage detection method using the Pockels effect is described.

A.2 Pockels effect

When an electric field is applied externally to a certain crystal, the polarization state of the crystal changes, anisotropy of the permittivity occurs, and the refractive index of the light propagating in the crystal changes, showing birefringence. This is the electro-optic effect.

When the refractive index changes linearly with the external electric field, the effect is called the Pockels effect. When the index change is proportional to the square of the electric field, it is called the Kerr effect.

The Pockels effect and the Kerr effect do not occur at the same time. Only one effect appears predominantly due to the symmetry of the crystal that makes up the substance or the structure of the polarization molecule of the substance.

The Pockels effect, which is the first-order electro-optic effect, is the basic principle of the optical voltage sensor (see Figure A.1)

As shown in Figure A.1, a light wave propagating in a crystal exhibiting the Pockels effect is decomposed into two orthogonally polarized waves, e_x and e_y , which are perpendicular to the propagation direction of the light and have planes of polarization in two specific directions, determined by the properties of the substance.

The difference between the refractive indexes for these polarized waves is linearly proportional to the electric field E applied to the substance, as shown in Formula (A.1).

$$n_x - n_y = n_o^3 r_p E \quad (\text{A.1})$$

where

n_o is the refractive index when no electric field is applied;

n_x, n_y are the refractive indexes for the x- and y-polarized waves e_x and e_y , respectively;

r_p is the Pockels coefficient.

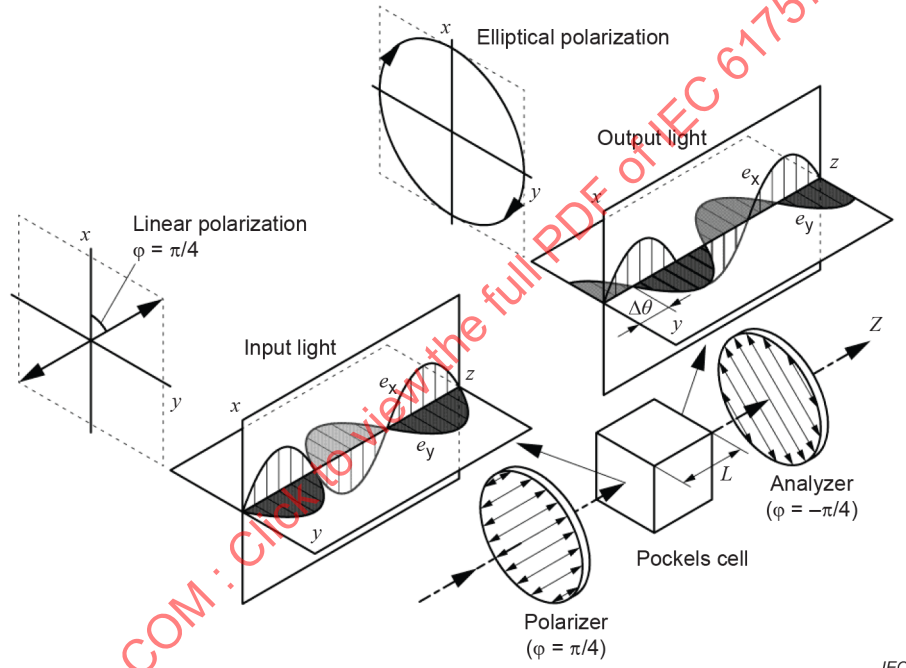
Since the propagation velocity of each polarized wave is given by the speed of light in vacuum divided by the corresponding refractive index, a phase difference $\Delta\theta$ occurs between the two polarized waves when the light leaves a substance of length L . The phase difference $\Delta\theta$ is linearly proportional to the applied electric field E , as shown in Formula (A.2).

$$\Delta\theta = \frac{2\pi L}{\lambda}(n_x - n_y) = \frac{2\pi L}{\lambda} n_o^3 r_p E \quad (\text{A.2})$$

where

λ is the wavelength of light in vacuum.

When this crystal is used as a sensing element, and the birefringence due to the Pockels effect is measured using certain methods, it is possible to determine the magnitude of the voltage that is the source of the electric field.



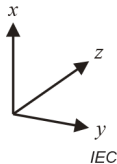
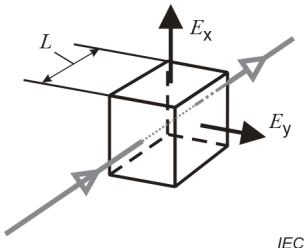
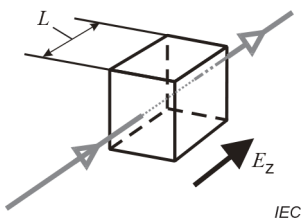
IEC

Source: OITDA FS 02 [1], reproduced with the permission of OITDA.

Figure A.1 – Pockels effect

Table A.1 summarizes the relationship between the direction of light propagation and the direction of the measured electric field. The transverse modulation method can measure the electric field in the direction perpendicular to the light propagation direction. The longitudinal modulation method can measure the electric field in the direction parallel to the light propagation direction. Furthermore, the longitudinal modulation method can directly obtain the integrated value of the electric field along the light propagation path, that is, information proportional to the difference in electrical potential. Here, the sensing element (i.e. Pockels cell) is large enough to allow light to pass through. Such an element is called a "bulk type element".

Table A.1 – Direction of electric field with sensitivity

	Transverse optical modulation	Longitudinal optical modulation
		
Amount to be measured	$\int_0^L E_x dz$, $\int_0^L E_y dz$	$\int_0^L E_z dz$
Source: OITDA FS 02 [1], reproduced with the permission of OITDA.		

A.3 Voltage detection method

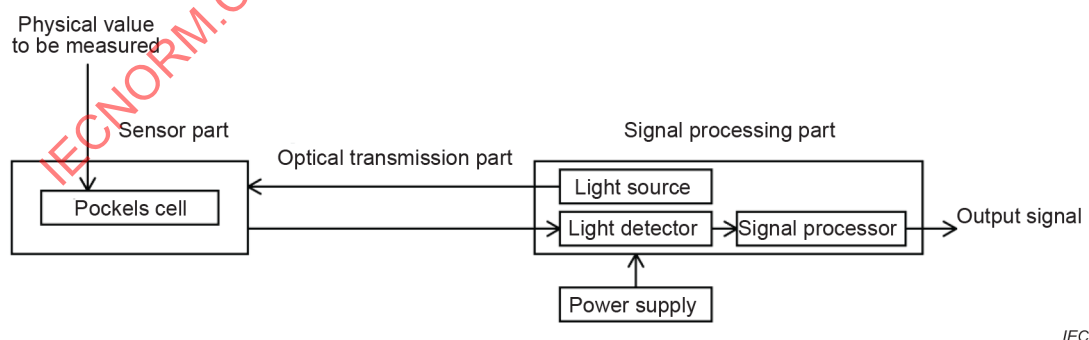
A.3.1 General

Annex A.3 explains the basic methods for detecting voltage by applying the measurement principle described in Clause A.2.

The measurement system typically consists of three parts:

- a sensor part that combines a Pockels cell with some optical elements;
- a signal processing part including a signal processor a light source, a light detector, and a power supply;
- a light transmission part that connects the sensor part with the signal processing part.

Figure A.2 shows the basic configuration of a measurement system for detecting voltage using the Pockels effect. In this system, the intensity of the light received by the light detector carries information corresponding to the Pockels effect. The received light is first converted to an electric signal proportional to the intensity of the light and subsequently to an output signal that is proportional to the phase change $\Delta\theta$ which the light experienced due to the Pockels effect.



IEC

Source: OITDA FS 02 [1], reproduced with the permission of OITDA.

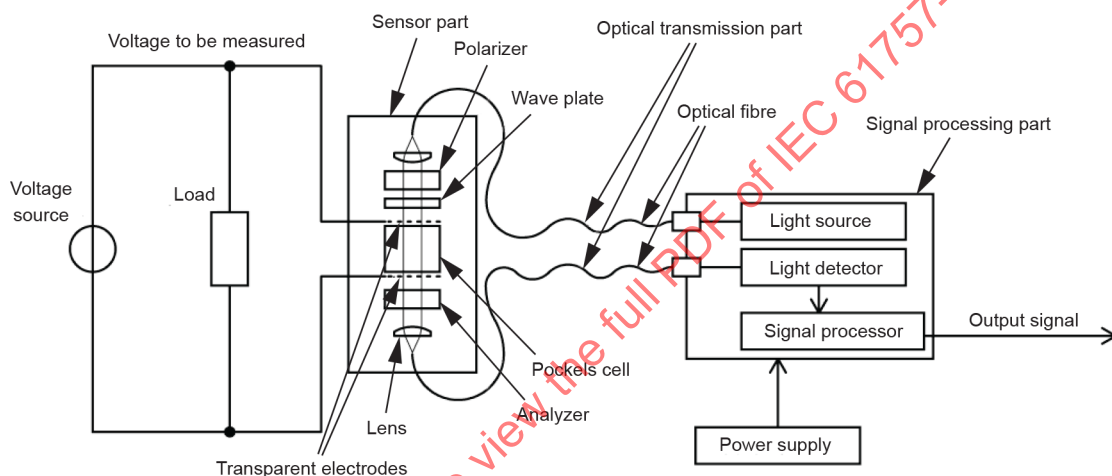
Figure A.2 – Configuration of a voltage detection system using the Pockels effect

Since many configurations and modes of operation have been developed for optical voltage sensors, it is difficult to classify them so that all technical elements and variations are exhaustively covered. As two examples, A.3.2.1 and A.3.2.2 describe the intensity modulation method and the interferometric method using a Pockels cell as the sensing element.

A.3.2 Examples of voltage detection method

A.3.2.1 Intensity modulation method

Figure A.3 shows the basic configuration of an optical voltage sensor using the intensity modulation method. Light from an unmodulated light source is sent to the sensor part through the optical transmission part, and is then converted into circularly polarized light by a polarizer followed by a quarter wave plate, before it enters the Pockels cell. In the Pockels cell, the applied electric field converts the circular polarized light into elliptically polarized light through the Pockels effect, where the ellipticity changes with the applied voltage. After passing through the Pockels cell, the light then enters the analyser in the sensor part, which converts polarization changes into intensity changes, so that the light intensity after the analyser is proportional to the ellipticity of the light before the analyser. After passing through the analyser, the light is then sent to the signal processing part by the optical transmission fibre and converted into an electrical signal by the light detector. The electrical signal is proportional to the incoming light intensity. The output value from the signal processor is proportional to the measured voltage.



IEC

Source: OITDA FS 02 [1], reproduced with the permission of OITDA.

Figure A.3 – Basic configuration of an optical voltage sensor using the intensity modulation method

A.3.2.2 Interferometric method

Figure A.4 shows an example of the configuration of an optical voltage sensor using the interferometric method. The light emitted from the light source is divided into two paths by an optical coupler, one of which includes an optical polarizer followed by an optical phase modulator. The phase modulator introduces differential phase modulation with an angular frequency ω_m between two linear polarization components whose polarization planes are orthogonal to each other.

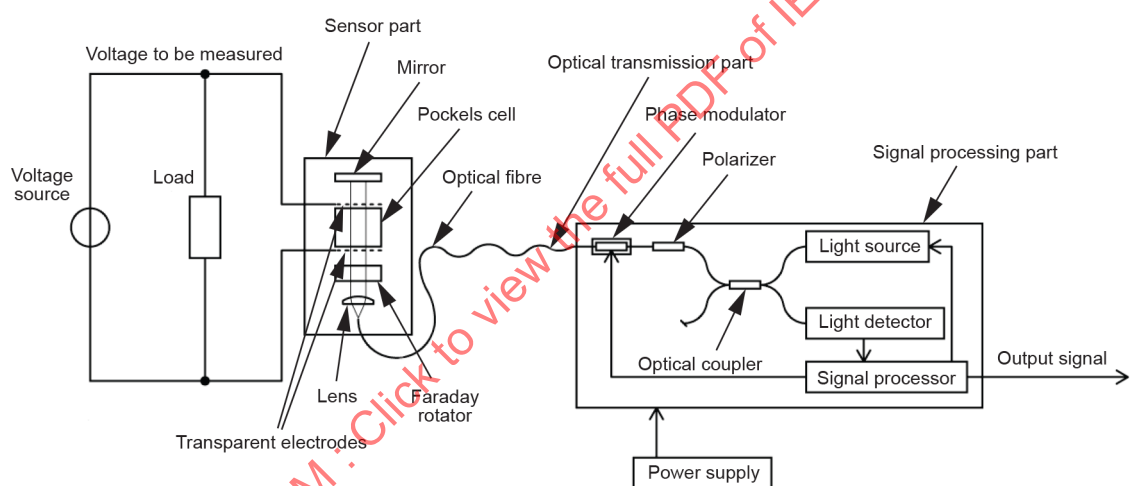
After passing through the polarizer and the phase modulator, the light enters the optical transmission part, made of optical fibre, which transports the light to the sensor part.

At the sensor part, the light emerging from the optical fibre is converted to a parallel beam by a lens and then passed through a Faraday rotator, which directs the two linearly polarized light components to the Pockels cell. After passing through the Pockels cell, which is installed so that its axis is aligned with that of the Faraday rotator, the light is reflected by a mirror and returns back to the Pockels cell and then to the Faraday rotator. During the two passes through the Pockels cell, the light is subjected to the Pockels effect resulting from the electric field induced by the applied voltage, so that a phase difference is created between two orthogonal polarization components that is proportional to the applied voltage.

The double-pass through the Faraday rotator has the effect that the plane of linearly polarized light entering the sensor part is rotated by 90° when it exits the sensor part. Hence, linearly polarized light entering the sensor part at 0° orientation exits the sensor at 90° orientation and, conversely, linearly polarized light entering the sensor part at 90° orientation exits the sensor at 0° orientation.

After experiencing the polarization rotation in the Faraday rotator and the differential phase shift in the Pockels cell, the light is focused back into the optical fibre and returned to the signal processing part. Because of the 90° polarization rotation in the Faraday rotator, undesired differential optical phase variations that were introduced in the first pass through the optical fibre (from the signal processing part to the sensor part) are compensated by opposite differential optical phase variations in the second pass through the fibre from the sensor part to the signal processing part.

In the signal processing part, the light undergoes additional phase modulation in the phase modulator before it re-enters the polarizer, where the two orthogonally polarized components interfere with each other in such a way that the optical phase difference generated in the Pockels cell is converted to a change in light intensity. After passing through the polarizer, the light is directed via the optical coupler to the light detector, which converts the light intensity into an electric signal. The required linearity and stability of the sensor output is obtained by performing signal processing in combination with the phase modulation described above.



IEC

Source: OITDA FS 02 [1], reproduced with the permission of OITDA.

Figure A.4 – Basic configuration of an optical voltage sensor using the interferometric method

Annex B (informative)

Features of optical voltage sensor technology

Annex B summarizes the features expected for the optical voltage sensor technology based on the principles described in Annex A. Assuming that a voltage detection device is applied to a power facility, the characteristics of a detection device are compared to those of a voltage transformer and a potential divider. Issues and challenges associated with the optical voltage sensor technology will not be discussed. From this point of view, the features expected for fibre optic voltage sensors are:

a) Compact and light weight

Since the Pockels cell and the signal transmission path are made of electrical insulators (i.e. an optical crystal and optical fibres), it is easy to ensure insulation when attaching to the charging part (i.e. voltage to be measured). Also, heavy objects such as iron cores are not required. Therefore, the entire apparatus including the mounting structure can be compact and lightweight.

b) Immunity to electromagnetic noise

Since light is used to detect and transmit signals, no electromagnetic induction noise interferes with the electronic circuit through the signal line. Consequently, the signal is less affected by the electromagnetic induction noise. Additionally, there is no concern about electronic circuit failure due to surge penetration. Therefore, this technology enables long-distance signal transmission and installation of the electronic circuit in a place with a good electromagnetic environment.

c) Long distance signal transmission

Since the signal is transmitted by a low-loss and low-dispersion optical fibre, high speed information can be transmitted over a long distance. Therefore, the electronic circuit can be installed in any place where the power supply can be easily found, the electromagnetic environment is good, and the signal can be easily transmitted to the next-stage apparatus.

d) Handling

Voltage can be detected by using an optical crystal of high insulation property. In the case of AC voltage measurement, non-contact measurement is possible, and even in the case of DC voltage measurement, the voltage divider can be made smaller.

e) Safety

No risk exists that large current can be generated by a short-circuit of the secondary circuit like a voltage transformer. In addition, no combustible materials such as insulating oil are required. There is no risk of fire.

f) High voltage detection

No characteristics deterioration occurs due to the magnetic saturation of the iron core that is typical in voltage transformers. Therefore, a system using fibre optic technology is suitable for detecting high voltages, including DC voltages, that can appear at the time of an accident (i.e. fault condition) in power systems.

g) DC detection

Since the Pockels effect responds to DC voltages, detection of DC is possible.

h) Detection of high-speed information

A system using this technology can detect, monitor, and measure voltage using the Pockels effect and transmit signals via an optical fibre, which enables detection of high-speed phenomena (i.e. information) and performs signal transmission.

i) Small impact on detection target

Since there is less influence on the voltage to be detected due to the installation of the device, the voltage can be accurately detected in the circuit with a local power supply.

Annex C (informative)

Design considerations

C.1 General information

Annex C summarizes the performance expected for the equipment such as function, detection performance, and reliability that are required for the optical voltage sensor.

C.2 Performance restricting factors

The test methods described in this document of the target detection device have constraints, as listed below, that restrict performance. Necessary items should be selected and tested to understand the possibility of these constraints.

The following is a list of items that can restrict the performance and reliability of the optical voltage sensor.

a) Sensor part

1) Principle constraints:

- constraints on the sensitivity of birefringence depending on the Pockels coefficient,
- maximum detectable voltage constraint due to the maximum readable phase of birefringence,
- effect of external electric field,
- restriction on the response speed depending on the time that light passes through the Pockels cell,
- characteristic of the Pockels cell.

2) Changes in characteristics depending on environmental conditions:

- temperature dependence of the Pockels coefficient of the Pockels cell,
- temperature dependence of sensitivity due to the photoelastic effect of the Pockels cell,
- temperature dependence of the optical rotation in the Pockels cell with optical activity,
- rotation of polarization by the Pockels cell and deformation of optical fibre,
- variation in polarization and transmission light intensity caused by vibration transmitted to the Pockels cell and the optical elements,
- temperature dependence of alignment of optical elements.

3) Durability and life span:

- water resistance,
- high-temperature resistance and low-temperature properties,
- UV resistance,
- surrounding medium resistance,
- vibration resistance,
- voltage resistance,
- aging of optical element alignments.

b) Optical transmission part

1) Principle constraint:

- restriction on the maximum signal transmission distance depending on a loss of signal transmission path.

2) Degradation of characteristics depending on environmental conditions:

- variation of transmitted light amount and polarization due to vibration of the transmission fibre.

3) Durability and life span:

- water resistance,
- high-temperature resistance and low-temperature properties,
- UV resistance,
- gas resistance,
- vibration resistance,
- voltage resistance.

c) Signal processing part

1) Principle constraints:

- variation of Pockels coefficient due to change in wavelength of the light source,
- limitation of detection sensitivity due to noise occurring in an electronic circuit,
- restriction of response speed depending on the bandwidth of the electronic circuit,
- restriction on the magnitude of maximum voltage to be measured due to non-linearity in the entire system,
- conformity to the digital output transmission standard,
- restriction on the load of analogue output.

2) Degradation of characteristics depending on environmental conditions:

- drift of electronic circuit characteristics,
- temperature dependence of electronic circuit characteristics,
- noise penetration into electronic circuits.

3) Durability and life span:

- degradation of parts due to ambient conditions such as high-temperature, low-temperature, humidity, and vibration.

d) Other constraints:

- restrictions on dimension or weight,
- restrictions on handling that makes the installation method complicated,
- complexity and practical implementation not meeting targets.

C.3 Procedure for determining the specifications of the equipment

Annex C.3 summarizes the procedure for determining the specifications of the "detection device" that is delivered from the supply side of optical voltage sensors to the application side of the sensors.

a) Basic configuration of the device to be delivered

As described in Annex A, this document describes a device consisting of the following three elements as an optical voltage sensor:

- 1) sensor part,
- 2) signal processing part,
- 3) light transmission part.

b) Basic design

Additionally, each part is designed based on the following two conditions:

- 1) method adopted by the device (see Annex A.3),
- 2) applicable conditions.

c) Scope and performance of delivered device

In addition to the above two conditions, the following two items are determined for optical voltage sensor to be delivered after examination, including a mutual discussion between the supply side and the application side of the sensor:

- 1) scope of devices to be delivered,
- 2) performance of device to be delivered.

d) Detailed design

After specifying the method, application conditions, scope, and performance of the device to be delivered in accordance with c), the detailed design of the delivered device is prepared and detailed specifications are determined.

e) Production

Based on the design, the device is verified to be "manufacturable".

f) Test

For confirming that the manufactured device performs as designed, the device is "tested" for necessary items.

g) Summarizing specifications

After completing procedures a) through f), the specifications of the sensor are compiled.

Annex D (informative)

Measurement parameter performance table

D.1 General

For easier performance comparisons, Table D.1 and Table D.2 and Figure D.1 through Figure D.7 should be used to record the measured parameter values. Similar tables can be used to provide a set of quoted specifications for the same measurement parameters.

D.2 I/O characteristics

Table D.1 – I/O characteristics

Temperature: _____

Input voltage V	Output voltage V	Error %	Notes
0	XX,X	XX,X	
0,2	XX,X	XX,X	Noise equivalent voltage
0,4	XX,X	XX,X	Approximately twice the noise equivalent voltage
...	XX,X	XX,X	
Rated voltage	XX,X	XX,X	
...	XX,X	XX,X	
$V_{\max}$	XX,X	XX,X	Maximum measurable voltage

D.3 Frequency characteristics

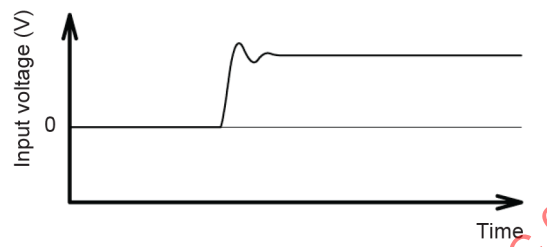
Table D.2 – Frequency characteristics

Temperature: _____

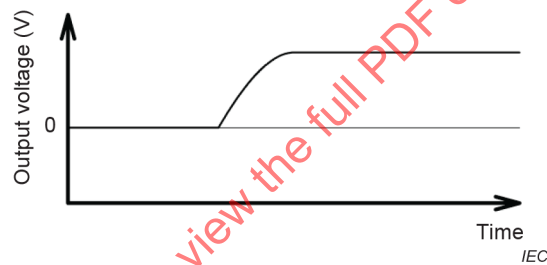
Input voltage: Rated voltage			
Frequency Hz	Output voltage V	Error %	Notes
0,1	XX,X	XX,X	Minimum measurable frequency
1	XX,X	XX,X	
10	XX,X	XX,X	
100	XX,X	XX,X	
1 k	XX,X	XX,X	
10 k	XX,X	XX,X	
...	XX,X	XX,X	
1 M	XX,X	XX,X	Maximum measurable frequency
Input voltage: Maximum measurable voltage			
Frequency Hz	Output voltage V	Error %	Notes
0,1	XX,X	XX,X	Minimum measurable frequency
1	XX,X	XX,X	
10	XX,X	XX,X	
100	XX,X	XX,X	
1 k	XX,X	XX,X	
10 k	XX,X	XX,X	
...	XX,X	XX,X	
1 M	XX,X	XX,X	Maximum measurable frequency

D.4 Transient characteristics

Input voltage: _____
 Rise time (t_r): _____
 Delay time (t_d): _____
 Peak time (t_p): _____
 Overshoot (P_m): _____
 Temperature: _____



a) Input voltage

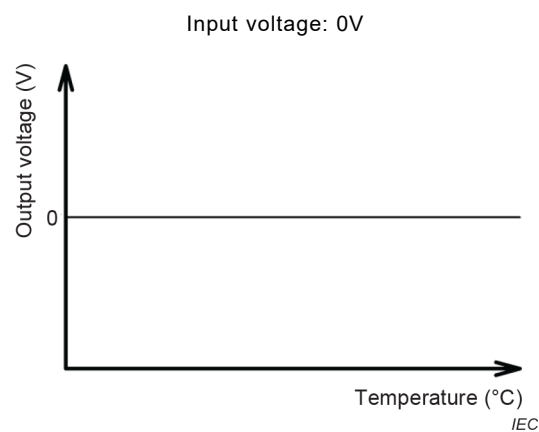


b) Optical voltage sensor output

Source: OITDA FS 02 [1], reproduced with the permission of OITDA.

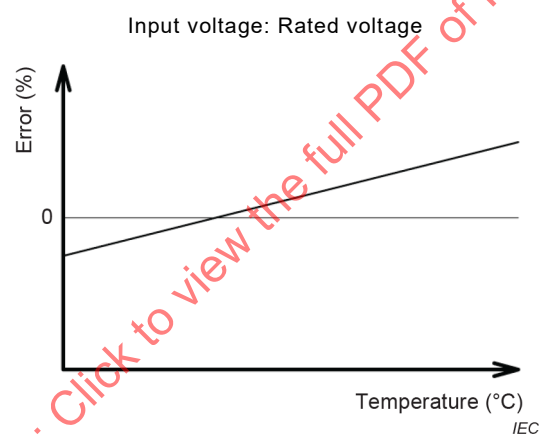
Figure D.1 – Example of the transient characteristic

D.5 Steady state temperature characteristics



Source: OITDA FS 02 [1], reproduced with the permission of OITDA.

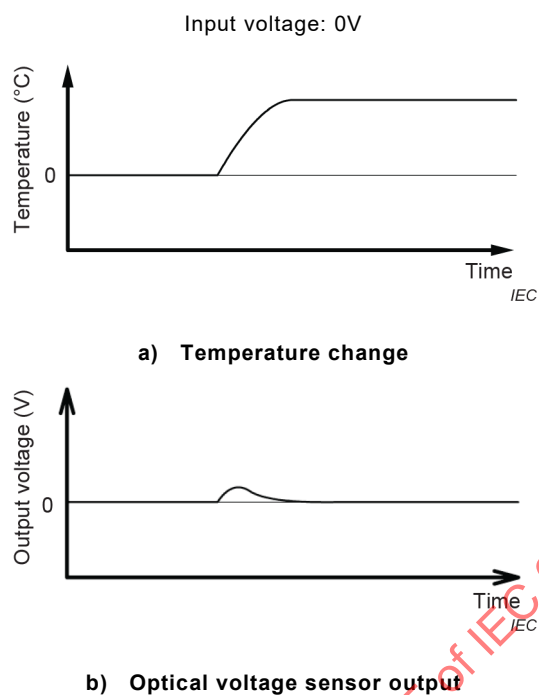
Figure D.2 – Example of the temperature characteristics at voltage 0



Source: OITDA FS 02 [1], reproduced with the permission of OITDA.

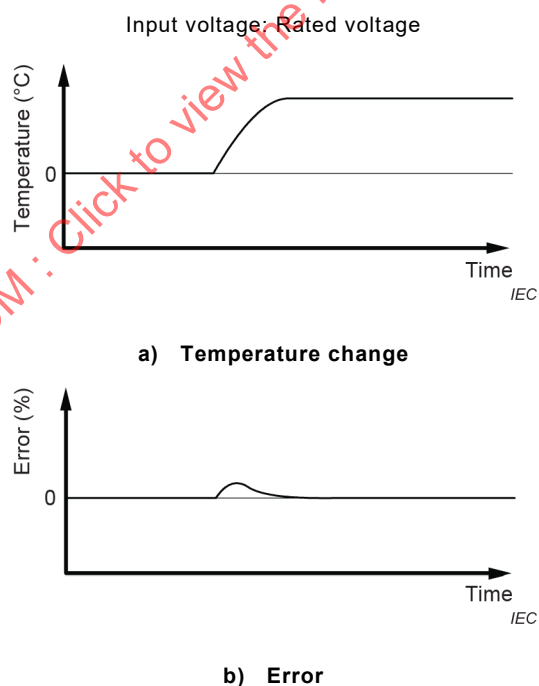
Figure D.3 – Example of the temperature characteristics at rated voltage

D.6 Transient temperature characteristics



Source: OITDA FS 02 [1], reproduced with the permission of OITDA.

Figure D.4 – Example of the transient temperature characteristics at input voltage 0



Source: OITDA FS 02 [1], reproduced with the permission of OITDA.

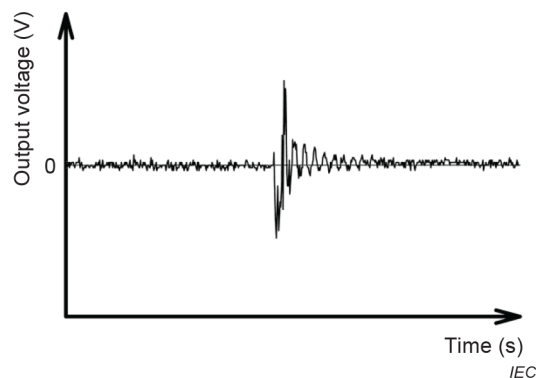
Figure D.5 – Example of the transient temperature characteristics at rated voltage

D.7 Shock test

Input voltage: 0V

Temperature: _____

Acceleration: _____



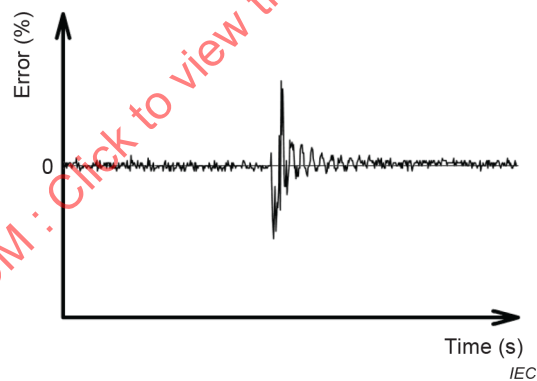
Source: OITDA FS 02 [1], reproduced with the permission of OITDA.

Figure D.6 – Example of the shock test at voltage 0

Input voltage: Rated voltage

Temperature: _____

Acceleration: _____



Source: OITDA FS 02 [1], reproduced with the permission of OITDA.

Figure D.7 – Example of the shock test at rated voltage

Bibliography

- [1] OITDA FS 02, *Fibre optic sensors – Voltage measurement – Polarimetric method*
- [2] IEC 61300-2-1, *Fibre optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures – Part 2-1: Tests – Vibration (sinusoidal)*
- [3] IEC 61300-2-9, *Fibre optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures – Part 2-9: Tests – Shock*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61757-7-3:2024

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61757-7-3:2024

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	46
INTRODUCTION.....	48
1 Domaine d'application	49
2 Références normatives	49
3 Termes et définitions	49
4 Composants d'un capteur de tension optique utilisant la méthode polarimétrique	52
4.1 Description générale	52
4.2 Classification des cellules Pockels	53
5 Essais de mesure des caractéristiques	53
5.1 Informations générales	53
5.2 Caractéristiques d'entrée à sortie.....	54
5.2.1 Généralités	54
5.2.2 Méthodes d'essai.....	55
5.2.3 Procédure d'essai.....	57
5.2.4 Évaluation	59
5.3 Durée de préchauffage	60
5.3.1 Généralités	60
5.3.2 Méthode d'essai	60
5.3.3 Évaluation	60
5.4 Conditions de tension pour obtenir les paramètres caractéristiques	60
5.5 Dépendance aux paramètres d'entrée.....	61
5.5.1 Caractéristiques de fréquence	61
5.5.2 Caractéristiques en régime transitoire.....	61
5.6 Dépendance à l'environnement extérieur	63
5.6.1 Essai des caractéristiques thermiques en régime établi	63
5.6.2 Essai des caractéristiques thermiques en régime transitoire	66
5.6.3 Essai de chocs et de vibrations	69
Annexe A (informative) Principe du capteur de tension optique	70
A.1 Encombrement.....	70
A.2 Effet Pockels.....	70
A.3 Méthode de détection de la tension.....	72
A.3.1 Généralités	72
A.3.2 Exemples de méthode de détection de la tension	73
Annexe B (informative) Caractéristiques de la technologie des capteurs de tension optique	75
Annexe C (informative) Considérations relatives à la conception	77
C.1 Informations générales	77
C.2 Facteurs limitatifs de performances.....	77
C.3 Procédure pour déterminer les spécifications du matériel.....	78
Annexe D (informative) Tableau des paramètres de mesure de performance	80
D.1 Généralités	80
D.2 Caractéristiques d'E/S	80
D.3 Caractéristiques de fréquence	81
D.4 Caractéristiques en régime transitoire	82
D.5 Caractéristiques thermiques en régime établi.....	83
D.6 Caractéristiques thermiques en régime transitoire.....	84

D.7 Essai de chocs.....	85
Bibliographie.....	86
Figure 1 – Système de mesure utilisant un capteur de tension optique	52
Figure 2 – Caractéristiques d'E/S d'un capteur de tension fibronique	54
Figure 3 – Montage de mesure pour la méthode de comparaison des formes d'onde	56
Figure 4 – Montage de mesure pour la méthode du pont à courant alternatif.....	57
Figure 5 – Caractéristiques en régime transitoire des capteurs pour les mesures en courant alternatif.....	62
Figure 6 – Caractéristiques en régime transitoire des capteurs pour les mesures en courant alternatif/courant continu.....	63
Figure 7 – Exemple de configuration pour évaluer les caractéristiques thermiques en régime établi et en régime transitoire de la partie de détection	65
Figure 8 – Exemple de profil de température.....	66
Figure 9 – Variation de la biréfringence lorsque la température varie	67
Figure 10 – Exemple de programme de température	68
Figure A.1 – Effet Pockels	71
Figure A.2 – Configuration d'un système de détection de tension utilisant l'effet Pockels.....	72
Figure A.3 – Configuration de base d'un capteur de tension optique utilisant la méthode de modulation d'intensité.....	73
Figure A.4 – Configuration de base d'un capteur de tension optique utilisant la méthode interférométrique	74
Figure D.1 – Exemple de la caractéristique en régime transitoire	82
Figure D.2 – Exemple des caractéristiques thermiques à la tension 0	83
Figure D.3 – Exemple des caractéristiques thermiques à la tension assignée	83
Figure D.4 – Exemple des caractéristiques thermiques en régime transitoire à la tension d'entrée 0	84
Figure D.5 – Exemple des caractéristiques thermiques en régime transitoire à la tension assignée.....	84
Figure D.6 – Exemple de l'essai aux chocs à la tension 0	85
Figure D.7 – Exemple de l'essai aux chocs à la tension assignée	85
Tableau 1 – Liste des paramètres à déterminer	53
Tableau 2 – Méthodes d'essai	55
Tableau 3 – Conditions de tension pour obtenir les paramètres caractéristiques.....	60
Tableau A.1 – Direction du champ électrique avec sensibilité	72
Tableau D.1 – Caractéristiques d'E/S	80
Tableau D.2 – Caractéristiques de fréquence.....	81

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CAPTEURS FIBRONIQUES –

Partie 7-3: Mesure de tension – Méthode polarimétrique

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 [avait/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 61757-7-3 a été établie par le sous-comité SC 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/1873/CDV	86C/1893/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 61757-7-3:2024

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 du capteur fibronique. La série IEC 61757-7-*T* concerne les mesures de tension.

Les techniques de mesure de tension sont essentielles pour contrôler et diagnostiquer les appareillages qui répondent aux besoins de l'industrie et de la société. Des capteurs de tension optique basés sur des effets électro-optiques ont été développés pour servir de dispositifs de mesure de tension. Ces capteurs permettent des mesures de tension avancées qui ne posent pas les problèmes liés aux capteurs de tension électriques conventionnels. Par conséquent, ils ont été appliqués dans différents domaines, notamment celui des systèmes d'alimentation.

Compte tenu du potentiel attendu de cette nouvelle technologie de détection de tension fibronique, plusieurs types de capteurs de tension optique couvrant un large éventail d'applications ont été développés par différents fabricants. La conception de ces capteurs de tension dépend de l'application spécifique, qui détermine la tension cible à mesurer, la configuration du capteur, la méthode de traitement du signal et la méthode d'installation. Lors du développement d'un nouveau capteur de tension optique, les performances et les caractéristiques du capteur doivent être spécifiées et évaluées.

Pour faciliter l'utilisation des capteurs de tension fibroniques, il est important de définir les termes qui caractérisent les performances et les fonctionnalités de ces capteurs. Il est également important de spécifier clairement la façon dont ces spécifications peuvent être évaluées. Des termes et des procédures d'évaluation clairement définis contribuent à développer des capteurs plus efficaces et à transférer cette nouvelle technologie de capteur entre les fournisseurs et les utilisateurs. Le présent document définit un ensemble de méthodes permettant d'évaluer les performances et les caractéristiques des capteurs de tension fibroniques. Le présent document ne quantifie cependant aucun objectif de performance, car celui-ci dépend de l'application particulière du capteur. Il est néanmoins attendu que le présent document contribue à définir des objectifs quantitatifs spécifiques pour les performances du capteur lorsqu'un capteur de tension fibronique est développé pour une application pratique donnée.

Le présent document est basé sur la norme OITDA FS 02 [1]¹ publiée par l'Optoelectronic Industry and Technology Development Association (OITDA). Les figures et les tableaux du présent document sont tous identiques à ceux de l'OITDA FS 02, sauf en ce qui concerne la traduction du japonais vers le français.

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

CAPTEURS FIBRONIQUES –

Partie 7-3: Mesure de tension – Méthode polarimétrique

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61757 définit la terminologie, la structure et les caractéristiques de performance des capteurs de tension fibroniques à l'aide d'une méthode de mesure polarimétrique. Le document spécifie les méthodes et procédures d'essai permettant de mesurer les paramètres de performance clés de ces capteurs. Il traite uniquement de l'élément de détection de tension, et non des dispositifs supplémentaires qui sont propres à chaque application.

Le document ne spécifie pas les valeurs de performance exigées des capteurs de tension fibroniques polarimétriques, car ces spécifications dépendent de l'application choisie pour le capteur et sont généralement définies par l'utilisateur du capteur. Les valeurs de performance exigées sont habituellement définies lors de la conception d'un capteur pour une application spécifique.

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, *Capteurs à fibres optiques – Spécification générique*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et les définitions de l'IEC 61757 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

effet électro-optique

variation des propriétés optiques d'une substance induite par un champ électrique

Note 1 à l'article: Les effets Pockels et Kerr sont des exemples d'effet électro-optique.

Note 2 à l'article: L'adjectif "électro-optique" ne doit pas être employé au sens d'"optoélectronique".

Note 3 à l'article: Le phénomène le plus usuel est une variation de l'indice de réfraction.

[SOURCE: IEC 60050-731:1991, 731-01-42]

3.2**méthode de modulation d'intensité**

méthode de conversion des informations de biréfringence en intensité lumineuse consistant à faire passer de la lumière à travers une plaque d'onde, une cellule Pockels et un élément de séparation de polarisation, dans cet ordre, et à créer un signal optique correspondant à la tension mesurée

3.3**méthode interférométrique**

méthode dans laquelle deux composantes lumineuses orthogonales polarisées linéairement traversent une cellule Pockels puis sont converties en un même état de polarisation, de sorte qu'elles interfèrent l'une avec l'autre et sont converties en une intensité lumineuse pour créer un signal optique correspondant à la tension mesurée

3.4**fréquence mesurable maximale**

fréquence la plus élevée des variations de tension qui peut être mesurée par un capteur de tension optique

3.5**tension mesurable maximale**

tension la plus élevée qui peut être mesurée par un capteur de tension optique

3.6**fréquence mesurable minimale**

fréquence la plus basse des variations de tension qui peut être mesurée par un capteur de tension optique

3.7**gamme des températures de fonctionnement**

gamme définissant les limites de température dans lesquelles un capteur de tension optique doit satisfaire aux performances définies

3.8**activité optique**

propriété de rotation du plan de polarisation

3.9**partie optique**

dans un capteur de tension optique, partie constituée d'une lentille, d'un prisme, d'un miroir et d'un élément optique tel qu'un modulateur de phase

Note 1 à l'article: Le terme "partie de détection" est axé sur la position du composant (voir 4), tandis que le terme "partie optique" est axé sur les matériaux du composant.

3.10**capteur de tension optique**

composant, module, sous-ensemble, ensemble ou dispositif qui peut détecter une tension en utilisant l'effet Pockels

Note 1 à l'article: Le capteur de tension optique est constitué d'une unité de détection, d'une unité de transmission optique et d'une unité de traitement des signaux (voir 4).

3.11**photoconductivité**

effet photoélectrique caractérisé par une variation de la conductivité électrique

[SOURCE: IEC 60050-731:1991, 731-01-62]

3.12**effet piézoélectrique**

génération d'un champ électrique en réponse à une contrainte mécanique appliquée ou génération d'une contrainte en réponse à un champ électrique appliqué

Note 1 à l'article: Une définition plus complète est donnée dans l'IEC 60050-121:1998, 121-12-86.

3.13**coefficient de Pockels**

coefficient qui indique la différence entre les indices de réfraction de la biréfringence qui apparaît en réponse à l'application du champ électrique à la substance

Note 1 à l'article: Voir l'Annexe A pour plus de détails.

3.14**effet Pockels**

effet électro-optique selon lequel l'application d'un champ électrique à une substance optiquement isotrope la rend biréfringente, la différence des indices de réfraction étant proportionnelle à la norme du champ électrique

[SOURCE: IEC 60050-121:1998, 121-12-94]

3.15**tension assignée**

valeur assignée de la tension, fixée par le fabricant pour un composant, un dispositif ou un matériel, et à laquelle on se réfère pour le fonctionnement et pour les caractéristiques fonctionnelles

3.16**spécifications exigées**

liste des spécifications auxquelles un capteur de tension optique doit satisfaire

3.17**caractéristiques en régime transitoire**

phénomènes engendrant une variation de la valeur de tension délivrée à la sortie d'un capteur de tension optique lorsque la tension à mesurer diverge de la valeur de tension définie sur une courte période

3.18**diviseur de tension**

dispositif constitué de résistances, d'inductances, de condensateurs, ou d'une combinaison de ces éléments telle que, entre deux points de ce dispositif, on obtient une fraction désirée de la tension appliquée au dispositif entier

Note 1 à l'article: Un diviseur de tension acquiert une partie de la tension appliquée à l'ensemble du dispositif entre deux points du dispositif.

[SOURCE: IEC 60050-312:2001, 312-02-32, modifié – Suppression de "de transformateur(s)" de la définition, ajout de la Note 1 à l'article]

3.19**durée de préchauffage**

durée comprise entre l'instant où l'alimentation est mise sous tension, et l'instant où l'appareil de mesure est en état d'être utilisé, comme spécifié par le constructeur

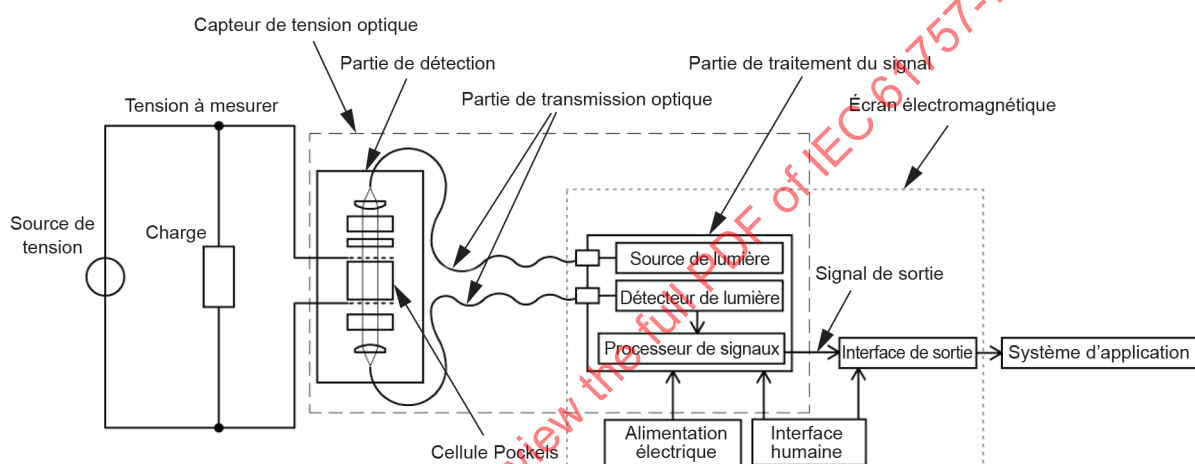
[SOURCE: IEC 60050-311:2001, 311-03-18]

4 Composants d'un capteur de tension optique utilisant la méthode polarimétrique

4.1 Description générale

La Figure 1 représente un schéma des différents éléments dont un capteur de tension optique est composé. Dans le présent document, le capteur de tension optique est divisé en trois parties: une partie de détection, une partie de transmission optique et une partie de traitement du signal. Chacune de ces parties peut être exposée à différents environnements physiques.

La partie de détection du capteur de tension optique contient une cellule Pockels reliée à deux conducteurs électriques dont la différence de tension est à mesurer. Elle est reliée par deux fibres optiques à la partie traitement du signal, qui calcule la tension mesurée par la partie de détection. La partie de détection est située à proximité des conducteurs électriques, mais la partie de traitement du signal est généralement située à un emplacement distant et est donc exposée à un environnement différent de celui de la partie de détection.



IEC

Source: OITDA FS 02 [1], reproduite avec la permission de l'Optoelectronic Industry and Technology Development Association (OITDA).

Figure 1 – Système de mesure utilisant un capteur de tension optique

Les fibres optiques qui relient la partie de détection à la partie de traitement du signal sont appelées partie de transmission optique.

La source de lumière servant à générer le signal optique transmis à la partie de détection par l'intermédiaire de la fibre optique est généralement incluse dans la partie de traitement du signal. De même, le détecteur de lumière servant à recevoir le signal optique émis par la partie de détection par l'intermédiaire de la fibre optique est inclus dans la partie de traitement du signal, qui contient également les alimentations électriques.

Les fonctions spécifiques à chaque partie peuvent être consultées à l'Annexe A, où elles sont décrites plus en détail.

NOTE La partie de détection peut inclure des éléments de commande de polarisation et de phase du signal optique, et un diviseur de tension permettant de régler la tension appliquée à la cellule Pockels. En plus d'une source de lumière, d'une alimentation électrique et d'un détecteur de lumière, la partie de traitement du signal peut comprendre des éléments permettant de contrôler la polarisation et la phase du signal optique.

Un composant, un module, un sous-ensemble, un ensemble ou un dispositif qui comprend une partie de détection avec une cellule Pockels, une partie de transmission optique et une partie de traitement du signal est appelé capteur de tension optique.

L'Annexe B donne le détail des caractéristiques spécifiques des capteurs de tension fibroniques polarimétriques et l'Annexe C les considérations relatives à la conception et les spécifications de performance.

4.2 Classification des cellules Pockels

Les cellules Pockels peuvent être classées en deux catégories. Certaines cellules Pockels ont des éléments de modulation longitudinaux dans lesquels la direction de transmission de la lumière et la direction d'application de la tension sont parallèles, tandis que d'autres ont des éléments de modulation transversaux dans lesquels la direction de transmission de la lumière et la direction d'application de la tension sont mutuellement orthogonales.

Davantage d'informations sur le fonctionnement des cellules Pockels peuvent être consultées à l'Annexe A.

5 Essais de mesure des caractéristiques

5.1 Informations générales

L'Article 5 spécifie une méthode d'essai de mesure des caractéristiques pour le capteur de tension optique. Les caractéristiques d'entrée à sortie (E/S) sont décrites en 5.2 et constituent la base de l'essai. Le paragraphe 5.3 décrit la durée de préchauffage, qui n'est pas prise en compte dans les capteurs de tension classiques. Le paragraphe 5.5 définit la dépendance des paramètres d'entrée pour chaque méthode d'essai et le paragraphe 5.6 la dépendance à l'environnement extérieur.

Le paragraphe 5.4 décrit les conditions de tension permettant d'obtenir les paramètres caractéristiques. Les paramètres à déterminer sont énumérés dans le Tableau 1, qui spécifie pour chaque paramètre si les essais sont exigés ou facultatifs. Les résultats de mesure sont récapitulés dans un rapport d'inspection (voir l'Annexe D) et présentés à l'utilisateur.

Tableau 1 – Liste des paramètres à déterminer

N°	Paramètres			Exigé ou facultatif
1	Caractéristiques d'E/S			Exigé
2	Durée de préchauffage			Exigé
3	Dépendance aux paramètres	Dépendance aux paramètres d'entrée	Caractéristique de fréquence	Exigé pour l'essai de type
			Caractéristique en régime transitoire	Exigé pour l'essai de type
		Dépendance à l'environnement extérieur	Caractéristique thermique en régime établi	Exigé pour l'essai de type Facultatif pour un essai individuel de série des capteurs à usage extérieur
			Caractéristique thermique en régime transitoire	Exigé pour l'essai de type Facultatif pour un essai individuel de série d'un capteur à usage extérieur
			Chocs et vibrations	Facultatif

5.2 Caractéristiques d'entrée à sortie

5.2.1 Généralités

Les caractéristiques d'E/S sont les paramètres de performance les plus fondamentaux des capteurs de tension optique. La Figure 2 représente les caractéristiques d'E/S d'un capteur de tension fibronique type. Idéalement, la tension à mesurer est rigoureusement égale à la tension de sortie rapportée par le capteur. En pratique, la tension de sortie peut s'écarter de la tension à mesurer, entraînant ainsi une erreur de mesure. Ces erreurs sont causées par les trois facteurs suivants:

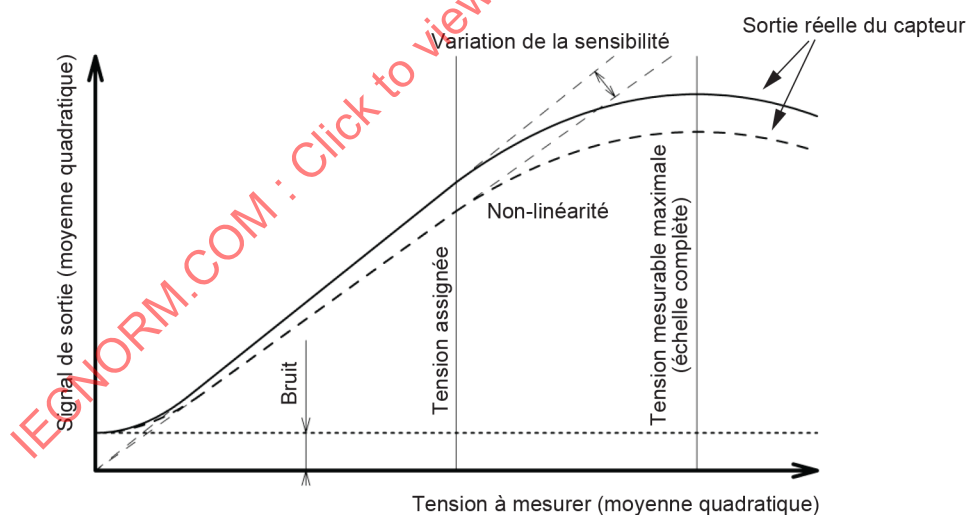
- a) le bruit,
- b) la variation de sensibilité,
- c) la non-linéarité.

Il existe deux types de bruit. Dans certains cas, le bruit est corrélé à la tension à mesurer, et dans d'autres il ne l'est pas. Par conséquent, ces deux types de bruit doivent être caractérisés séparément. Il convient de distinguer, d'une part les décalages en courant continu de la tension de sortie, d'autre part le bruit.

La variation de sensibilité est une variation de la proportionnalité entre la tension de sortie consignée et la tension à mesurer.

La non-linéarité est le phénomène selon lequel la sensibilité du capteur de tension varie en fonction de la tension à mesurer, de sorte que la relation entre la tension de sortie consignée et la tension à mesurer n'est plus une ligne droite.

La Figure 2 représente les effets du bruit, de la variation de sensibilité et de la non-linéarité sur la tension de sortie consignée.



IEC

Source: OITDA FS 02 [1], reproduite avec la permission de l'OITDA.

Figure 2 – Caractéristiques d'E/S d'un capteur de tension fibronique

Il convient que les erreurs résultant du bruit, de la variation de sensibilité et de la non-linéarité soient prises en compte séparément, car elles sont affectées différemment par les variations d'environnement telles que les variations de température (voir 5.6.1) et les vibrations (voir 5.6.3). En général, la tension de sortie d'un capteur devient saturée lorsque la tension à mesurer dépasse une certaine valeur, qui est appelée tension mesurable maximale à la Figure 2. Le fabricant d'un capteur de tension optique spécifie comme tension mesurable maximale une valeur inférieure à celle à laquelle la tension de sortie n'augmente plus avec la tension d'entrée, et définit ladite valeur dans les spécifications. Le fabricant détermine également la tension assignée (voir Figure 2) comme étant la plus grande tension qui puisse être mesurée sans être affectée par la saturation, et la définit dans les spécifications du capteur.

En raison des impacts du bruit, de la variation de sensibilité et de la non-linéarité, la tension de sortie réelle du capteur varie entre la courbe noire en traits pleins et la courbe en pointillé noire, représentées à la Figure 2.

5.2.2 Méthodes d'essai

5.2.2.1 Généralités

Le Tableau 2 fournit une liste des méthodes d'essai permettant de caractériser les erreurs de mesure causées par le bruit, la variation de sensibilité et la non-linéarité du capteur de tension optique. En général, les essais doivent être réalisés au moyen d'une méthode de comparaison des formes d'onde, à l'aide d'un dispositif d'enregistrement de formes d'onde tel qu'un oscilloscope. Cependant, lors d'un essai sur des non-linéarités inférieures ou égales à 1 % avec une sortie analogique, si l'exactitude obtenue n'est pas suffisante avec un dispositif d'enregistrement de formes d'onde, la méthode du pont peut être appliquée en complément de la méthode de comparaison des formes d'onde. Lorsqu'une cellule photoconductrice Pockels est utilisée (voir 3.11), il convient de tenir compte des effets de la lumière ambiante, notamment l'éclairage présent dans l'environnement d'utilisation. L'ensemble du matériel doit être étalonné avant l'essai conformément aux instructions du fabricant.

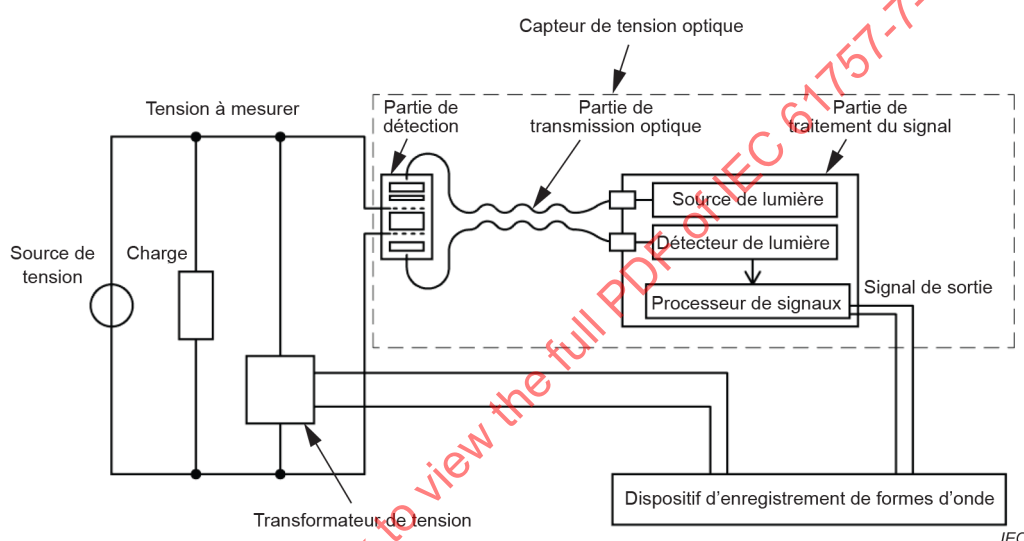
Tableau 2 – Méthodes d'essai

Points	En cas de sortie numérique	En cas de sortie analogique	
	Mesure générale	Mesure générale	Mesure de haute exactitude
Bruit	Méthode de comparaison des formes d'onde	Méthode de comparaison des formes d'onde	Non applicable
Variation de la sensibilité	Méthode de comparaison des formes d'onde	Méthode de comparaison des formes d'onde	Méthode du pont
Non-linéarité	Méthode de comparaison des formes d'onde	Méthode de comparaison des formes d'onde	Méthode du pont

Le paragraphe 5.2.2.2 décrit un exemple de configuration d'essai pour la méthode de comparaison des formes d'onde, et le paragraphe 5.2.2.3 décrit un exemple de configuration d'essai pour la méthode du pont à courant alternatif.

5.2.2.2 Méthode de comparaison des formes d'onde

La Figure 3 montre un exemple de configuration d'essai utilisée pour la méthode de comparaison des formes d'onde. Un transformateur de tension ou un diviseur de tension peut être utilisé pour générer une norme de tension à des fins de comparaison. La Figure 3 représente l'exemple d'un transformateur de tension. La tension mesurée directement à la sortie du transformateur de tension et la tension mesurée par le capteur de tension optique sont enregistrées dans un dispositif d'enregistrement de formes d'onde, tel qu'un oscilloscope ou un enregistreur de données. Il convient que le transformateur de tension ou le diviseur de tension et le dispositif d'enregistrement de formes d'onde présentent une réponse suffisamment précise dans la bande de fréquences soumise à essai. Les formes d'onde mesurées doivent être enregistrées sous forme numérique pour permettre un calcul des erreurs et des déphasages, comme décrit en 5.2.4. Pour éviter les erreurs de repliement de spectre apparaissant au moment de la numérisation, un filtre antirepliement capable d'atténuer les signaux autres que ceux de la bande de fréquences de mesure du dispositif d'enregistrement de formes d'onde doit être installé en amont du dispositif d'enregistrement de formes d'onde.

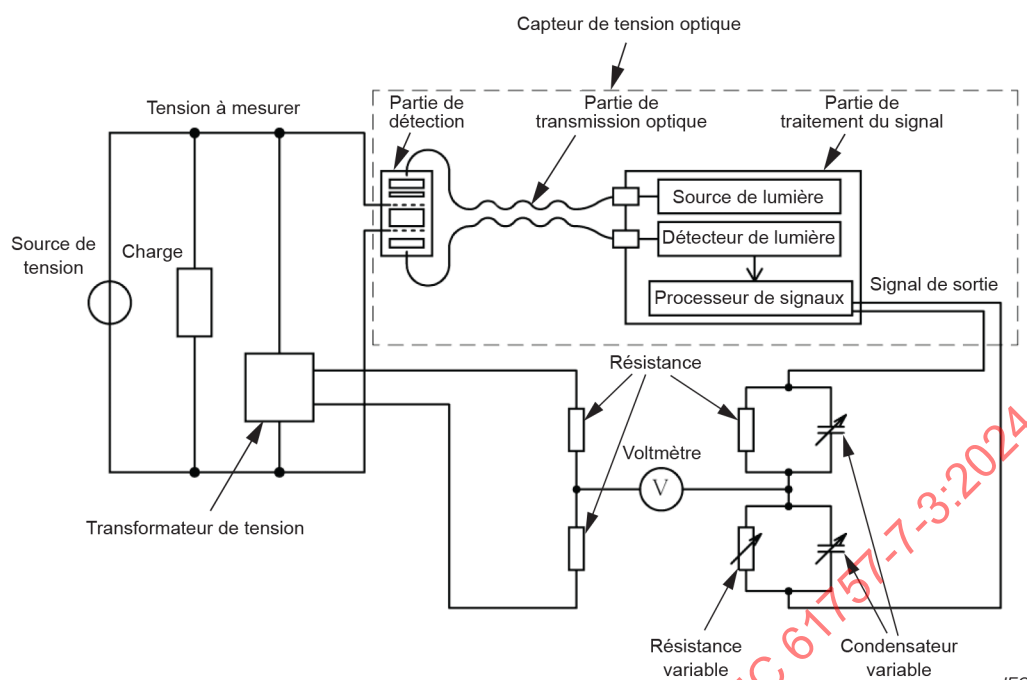


Source: OITDA FS 02 [1], reproduite avec la permission de l'OITDA.

Figure 3 – Montage de mesure pour la méthode de comparaison des formes d'onde

5.2.2.3 Méthode du pont à courant alternatif

Si la précision de l'appareil d'enregistrement de formes d'onde est insuffisante, il convient d'utiliser simultanément une méthode de pont. La Figure 4 montre un exemple de configuration d'essai pour le cas d'un capteur de tension optique à sortie de tension analogique. Un transformateur de tension ou un diviseur de tension peut être utilisé comme norme de tension à des fins de comparaison. Le pont représenté à la Figure 4 comprend des résistances et des condensateurs réglables côté capteur de tension, servant à équilibrer l'impédance du côté transformateur de tension. Les variations de sensibilité du capteur de tension optique sont détectées par un voltmètre, qui mesure l'écart du circuit de pont par rapport au point d'équilibre. Seules les variations de sensibilité et les non-linéarités décrites en 5.2.1 peuvent être mesurées avec cette méthode. Le bruit doit être caractérisé par la méthode de comparaison des formes d'onde décrite en 5.2.2.2.



Source: OITDA FS 02 [1], reproduite avec la permission de l'OITDA.

Figure 4 – Montage de mesure pour la méthode du pont à courant alternatif

5.2.3 Procédure d'essai

5.2.3.1 Capteurs pour les mesures en courant alternatif ou en courant alternatif/courant continu

La méthode de comparaison des formes d'onde caractérise le bruit, la variation de sensibilité et la non-linéarité du capteur, comme décrit en 5.2.1, en comparant la forme d'onde obtenue au moyen de la norme de tension avec la forme d'onde de sortie du capteur de tension optique. Cette comparaison est effectuée à plusieurs niveaux de la tension à mesurer, allant de zéro à la tension mesurable maximale. Cette comparaison est effectuée aux niveaux de tension énumérés ci-dessous.

a) À tension nulle:

Mesure du bruit uniquement. Il convient de caractériser l'intensité du bruit en fonction de la fréquence au moyen d'un outil d'analyse de fréquence approprié (par exemple une transformée de Fourier rapide), de préférence la fonction d'analyse de fréquence d'un oscilloscope. Il est très probable que la composante fréquentielle de la tension à mesurer et ses harmoniques perturbent le système.

b) À la tension de bruit équivalente et à environ deux fois la tension de bruit équivalente:

- 1) Séparer le bruit en une composante corrélée avec la tension à mesurer et une composante non corrélée avec la tension.
- 2) Le bruit qui n'est pas corrélé à la tension mesurée est réduit par un calcul de moyenne d'un grand nombre de formes d'onde obtenues du dispositif d'enregistrement de formes d'onde (par exemple un oscilloscope).
- 3) Le bruit correspondant à la tension mesurée n'est pas affecté par le calcul de moyenne des formes d'onde obtenues du dispositif d'enregistrement de formes d'onde.
- 4) Enregistrer les formes d'onde obtenues du dispositif d'enregistrement de formes d'onde avec calcul de moyenne et sans calcul de moyenne.

c) En plusieurs tensions situées entre la tension qui est sensiblement le double de la tension de bruit équivalente et la tension assignée.

Cela permet une mesure précise des variations de sensibilité.

- d) En plusieurs tensions situées entre la tension assignée et la tension mesurable maximale.
Cela permet une mesure précise des non-linéarités.

Les formes d'onde acquises par le dispositif d'enregistrement de formes d'onde sont approchées par des sinusoïdes au moyen de la méthode des moindres carrés, qui permet de déterminer l'amplitude et la phase de la forme d'onde enregistrée. La fonction utilisée pour l'approximation sinusoïdale de la forme d'onde obtenue à partir de la norme de tension est représentée dans la Formule (1), et la fonction utilisée pour l'approximation sinusoïdale de la forme d'onde de la sortie du capteur de tension optique est représentée dans la Formule (2).

$$v_I = V_I \sin(\omega t + \theta_I) + V_{DCI} \quad (1)$$

où

- v_I est la tension à mesurer, obtenue à partir de la norme de tension;
 V_I est l'amplitude de la composante alternative de la tension à mesurer;
 V_{DCI} est la composante continue de la tension à mesurer;
 ω est la fréquence angulaire de la tension à mesurer;
 θ_I est la phase de la tension à mesurer.

$$v_O = V_O \sin(\omega t + \theta_O) + V_{DCO} \quad (2)$$

où

- v_O est la sortie du capteur de tension optique;
 V_O est l'amplitude de la composante alternative de la sortie du capteur de tension optique;
 V_{DCO} est la composante continue de la sortie du capteur de tension optique;
 ω est la fréquence angulaire de la tension à mesurer (qui est égale à la fréquence angulaire du capteur de tension optique);
 θ_O est la phase de la sortie du capteur de tension optique.

5.2.3.2 Capteurs pour la mesure en courant continu

Pour caractériser le bruit, la variation de sensibilité et la non-linéarité décrits en 5.2.1, la forme d'onde de la norme de comparaison doit être comparée à la forme d'onde de sortie du capteur de tension optique à plusieurs niveaux de la tension à mesurer. Cette comparaison est effectuée aux niveaux de tension énumérés ci-dessous.

- a) À une tension nulle à mesurer.
Déterminer le décalage dans la sortie du capteur de tension optique à partir de la valeur moyenne de la forme d'onde obtenue en sortie du capteur de tension optique à une tension nulle.
- b) En plusieurs tensions situées entre la tension qui est sensiblement le double de la tension de bruit équivalente et la tension assignée.
Cela permet une mesure précise des variations de sensibilité.
- c) En plusieurs tensions situées entre la tension assignée et la tension mesurable maximale.
Cela permet une mesure précise des non-linéarités.

5.2.4 Évaluation

5.2.4.1 Capteurs pour la mesure en courant alternatif ou en courant alternatif/courant continu

L'essai de mesure des caractéristiques d'entrée/sortie doit être réalisé en comparant l'erreur, le déphasage et le bruit de la sortie du capteur de tension optique avec les spécifications exigées.

a) Erreur

Il convient d'exprimer l'erreur sous la forme de l'erreur à pleine échelle définie dans la Formule (3). D'autres méthodes de notation peuvent être utilisées si nécessaire.

$$\varepsilon_{FS} = \frac{V_O - V_I}{V_{FS}} \quad (3)$$

où

ε_{FS} est l'erreur à pleine échelle;

V_I est l'amplitude de la tension à mesurer;

V_O est l'amplitude de la sortie du capteur de tension optique;

V_{FS} est la tension mesurable maximale.

b) Déphasage

Le déphasage δ entre la tension à mesurer et la sortie du capteur de tension optique est obtenu à partir de la Formule (4), où θ_O et θ_I sont respectivement obtenus à partir des fonctions d'approximation indiquées respectivement dans la Formule (1) et la Formule (2).

$$\delta = \theta_O - \theta_I \quad (4)$$

où

θ_O est la phase de la sortie du capteur de tension optique;

θ_I est la phase de la tension à mesurer.

c) Bruit

La valeur efficace de la sortie du capteur de tension optique à tension nulle à mesurer est définie comme étant la tension du bruit d'entrée équivalent.

Les caractéristiques du filtre antirepliement utilisé doivent être spécifiées dans le rapport d'essai.

5.2.4.2 Capteurs pour les mesures en courant continu

L'essai de mesure des caractéristiques d'E/S doit être réalisé en comparant l'erreur de la sortie du capteur de tension optique avec les spécifications exigées.

Il convient d'exprimer l'erreur sous la forme de l'erreur à pleine échelle définie dans la Formule (5). D'autres méthodes de notation peuvent être utilisées si nécessaire.

$$\varepsilon_{FS} = \frac{V_{ODC} - V_{IDC}}{V_{FS}} \quad (5)$$

où

ε_{FS} est l'erreur à pleine échelle;

V_{IDC} est la valeur moyenne de la tension à mesurer;

V_{ODC} est la valeur moyenne de la sortie du capteur de tension optique;

V_{FS} est la tension mesurable maximale.

5.3 Durée de préchauffage

5.3.1 Généralités

En général, un capteur de tension optique ne satisfait pas aux spécifications exigées tant qu'un certain laps de temps ne s'est pas écoulé après la mise sous tension, connu sous le nom de durée de préchauffage. La durée de préchauffage est mentionnée dans les spécifications exigées du capteur de tension optique pour indiquer clairement que la performance exigée n'est pas obtenue tant que ce laps de temps ne s'est pas écoulé.

5.3.2 Méthode d'essai

À une tension nulle à mesurer et à la tension assignée, la source d'alimentation du capteur de tension optique est mise en marche et la sortie du capteur de tension optique est soumise à essai une fois que la durée de préchauffage s'est écoulée.

5.3.3 Évaluation

L'essai de mesure de la durée de préchauffage est réalisé en comparant l'erreur et la phase de la sortie du capteur de tensions optique avec les spécifications exigées.

5.4 Conditions de tension pour obtenir les paramètres caractéristiques

Les conditions de tension pour mesurer les paramètres caractéristiques du capteur de tension sont indiquées dans le Tableau 3.

Tableau 3 – Conditions de tension pour obtenir les paramètres caractéristiques

Dépendance	Caractéristiques	Sortie du capteur de tension optique à tension nulle	Sensibilité et phase à la tension assignée	Sensibilité et phase à la tension mesurable maximale	Paragraphe décrivant la méthode d'essai
Paramètre d'entrée	Caractéristiques de fréquence	Non applicable	Recommandées	Recommandées	5.5.1
	Caractéristiques en régime transitoire	Non applicable	Recommandées	Recommandées	5.5.2
Environnement extérieur	Caractéristiques thermiques en régime établi	Recommandées	Recommandées	Recommandées	5.6.1
	Caractéristiques thermiques en régime transitoire	Recommandées	Recommandées	Non applicable	5.6.2
	Chocs et vibrations	Recommandées	Recommandées	Non applicable	5.6.3

5.5 Dépendance aux paramètres d'entrée

5.5.1 Caractéristiques de fréquence

5.5.1.1 Généralités

La réponse en fréquence du capteur de tension optique dépend des caractéristiques de fréquence de la partie de détection, de la partie de transmission optique et de la partie de traitement du signal. La réponse en fréquence de la partie de détection n'est pas toujours plate en raison des vibrations causées par l'effet piézoélectrique de la cellule Pockels. La partie de transmission optique a généralement une réponse en fréquence plate sur une plage de fréquences plus large que pour la partie de détection et la partie de traitement du signal. Lors de l'utilisation d'un filtre, soit pour l'élimination du bruit, soit pour la prévention des erreurs dues à un repliement de spectre dans l'échantillonnage numérique, soit pour ces deux utilisations à la fois, la réponse en fréquence de la partie de traitement du signal dépend de la largeur de bande de ce filtre.

5.5.1.2 Méthode d'essai

Dans la configuration d'essai représentée à la Figure 7, le signal de sortie de la partie de traitement du signal est mesuré à plusieurs fréquences (par exemple à 10 fréquences différentes) situées entre la fréquence mesurable minimale et la fréquence mesurable maximale, tandis que la tension à mesurer est maintenue constante. Il convient que la tension à mesurer soit réglée à la tension assignée et à la tension mesurable maximale. Si la tension assignée ou la tension mesurable maximale ne peut pas être générée en raison des limites du matériel d'essai, la tension à mesurer doit être spécifiée dans le rapport d'essai.

5.5.1.3 Évaluation

Les caractéristiques de fréquence du capteur sont évaluées par une comparaison de l'erreur de mesure et de la phase à la sortie de la partie de traitement du signal avec les spécifications exigées.

5.5.2 Caractéristiques en régime transitoire

5.5.2.1 Objet

Les caractéristiques en régime transitoire du capteur de tension optique définissent la durée nécessaire pour que la sortie de la partie de traitement du signal revienne en régime établi lorsque la tension à mesurer augmente ou diminue brusquement. Il est souhaitable d'utiliser une réponse à un échelon pour mesurer les caractéristiques en régime transitoire. Comme décrit en 5.5.1, l'unité de transmission optique a généralement une réponse plate sur une plage de fréquences plus large que celle de l'unité de détection et de l'unité de traitement du signal, tandis que l'unité de détection et l'unité de traitement du signal présentent généralement une réponse en fréquence plus étroite. Les paramètres de performance suivants doivent être mesurés lors de la détermination des caractéristiques en régime transitoire:

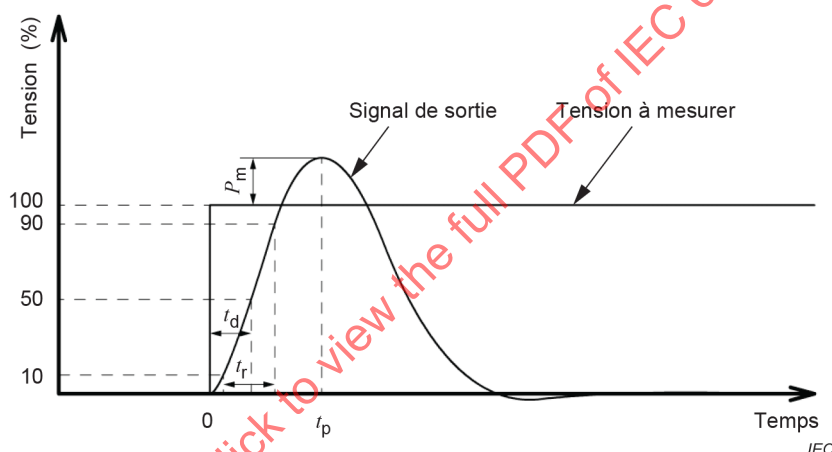
- temps de montée t_r ,
- temps de retard t_d ,
- temps de crête t_p ,
- temps d'établissement t_s ,
- dépassement P_m .

5.5.2.2 Méthode d'essai

La méthode utilisée pour soumettre à essai les caractéristiques en régime transitoire des capteurs pour les mesures en courant alternatif diffère de la méthode utilisée pour soumettre à essai les caractéristiques en régime transitoire des capteurs pour les mesures en courant alternatif/courant continu. Les caractéristiques en régime transitoire de ces deux types de capteurs et les méthodes d'essai correspondantes sont représentées à la Figure 5 et à la Figure 6.

a) Capteur pour les mesures en courant alternatif

La Figure 5 montre un exemple des caractéristiques en régime transitoire d'un capteur pour les mesures en courant alternatif. Lorsque la forme d'onde en échelon est appliquée à l'entrée de la partie de détection, la sortie de la partie de traitement du signal commence par augmenter, du fait de la forme d'onde en échelon, puis diminue et converge finalement vers zéro. Les caractéristiques en régime transitoire du capteur doivent être évaluées par une mesure du temps de montée, du temps de retard, du temps de crête et du dépassement. Le temps de montée est défini comme étant la durée pendant laquelle la sortie du processeur de signal passe de 10 % à 90 % de la forme d'onde en échelon. Le temps de retard est défini comme étant la durée pendant laquelle la sortie du processeur de signal passe de 0 % à 50 % de la forme d'onde en échelon (voir Figure 5).



Source: OITDA FS 02 [1], reproduite avec la permission de l'OITDA.

Légende

t_r temps de montée

t_d temps de retard

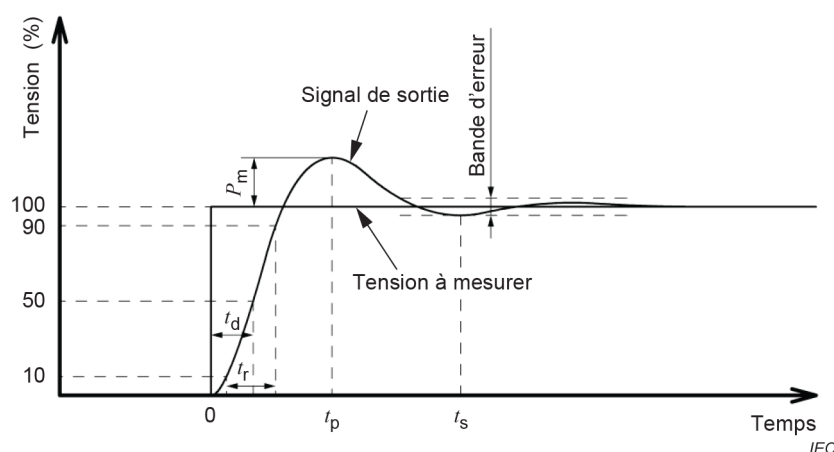
t_p temps de crête

P_m dépassement

Figure 5 – Caractéristiques en régime transitoire des capteurs pour les mesures en courant alternatif

b) Capteur pour les mesures en courant alternatif/courant continu

La Figure 6 représente un exemple des caractéristiques en régime transitoire d'un capteur pour les mesures en courant alternatif/courant continu, dans lequel la tension à mesurer peut être à la fois une tension alternative et une tension continue. Lorsqu'une forme d'onde en échelon est appliquée à l'entrée de la partie de détection de ce type de capteur, la sortie de la partie de traitement du signal commence par augmenter, du fait de la forme d'onde en échelon, puis converge vers la même valeur que celle de la forme d'onde en échelon. Les caractéristiques en régime transitoire doivent être évaluées par une mesure du temps de montée, du temps de retard, du temps de crête, du temps d'établissement et du dépassement (voir Figure 6). La méthode de calcul du temps de montée et du temps de retard est la même que celle utilisée pour le capteur de tension alternative.



Source: OITDA FS 02 [1], reproduite avec la permission de l'OITDA.

Légende

t_r temps de montée

t_d temps de retard

t_p temps de crête

t_s temps d'établissement

P_m dépassement

Figure 6 – Caractéristiques en régime transitoire des capteurs pour les mesures en courant alternatif/courant continu

5.5.2.3 Évaluation

Les caractéristiques en régime transitoire du capteur de tension optique sont évaluées par comparaison du temps de montée, du temps de retard, du temps de crête, du temps d'établissement et du dépassement avec les spécifications exigées.

5.6 Dépendance à l'environnement extérieur

5.6.1 Essai des caractéristiques thermiques en régime établi

5.6.1.1 Généralités

Pour évaluer les performances du capteur de tension optique dans la gamme des températures de fonctionnement, un essai de mesure des caractéristiques thermiques en régime établi doit être effectué.

5.6.1.2 Parties à soumettre à essai

Les caractéristiques thermiques de la partie de détection et de la partie de traitement du signal doivent être soumises à essai séparément.

a) Partie de détection

Le coefficient de Pockels de la cellule Pockels dépend de la température. De plus, lorsqu'un cristal optique à rotation optique est utilisé comme cellule Pockels, la rotation optique dépend également de la température.

Un essai est réalisé pour confirmer que les spécifications exigées sont satisfaites dans la gamme des températures de fonctionnement. Dans certains cas, la dépendance à la température des éléments optiques inclus dans la partie optique est trop importante pour être négligée.

b) Partie de transmission optique

L'essai est réalisé si les caractéristiques thermiques de la partie de transmission optique peuvent affecter les spécifications exigées du capteur de tension optique. Par exemple, lorsque des fibres de maintien de polarisation sont appliquées à la partie de transmission optique, il est à craindre que la diaphonie due à la polarisation augmente soit dans des environnements à haute température, soit dans des environnements à basse température, soit dans ces deux types d'environnement à la fois, et affecte les performances du capteur de tension optique. Il est souhaitable que la longueur de la partie de transmission optique soit adaptée à la distance de transmission maximale prévue dans l'application pratique du capteur.

c) Partie de traitement du signal

Les performances des circuits électriques et électroniques présentent souvent une dépendance à la température. Il est également connu que la puissance de sortie et la longueur d'onde de la source de lumière peuvent dépendre de la température. De plus, le courant d'obscurité et la sensibilité du détecteur de lumière peuvent dépendre de la température. Étant donné que le bruit thermique augmente avec la température, une attention particulière doit être portée à l'augmentation potentielle du bruit dans les environnements à haute température.

5.6.1.3 Configuration d'essai

La Figure 7 montre un exemple de montage d'essai pour l'évaluation des caractéristiques thermiques en régime établi et en régime transitoire de la partie de détection. Les exigences relatives au matériel d'essai et aux conditions d'essai sont les suivantes.

a) Enceinte thermostatique

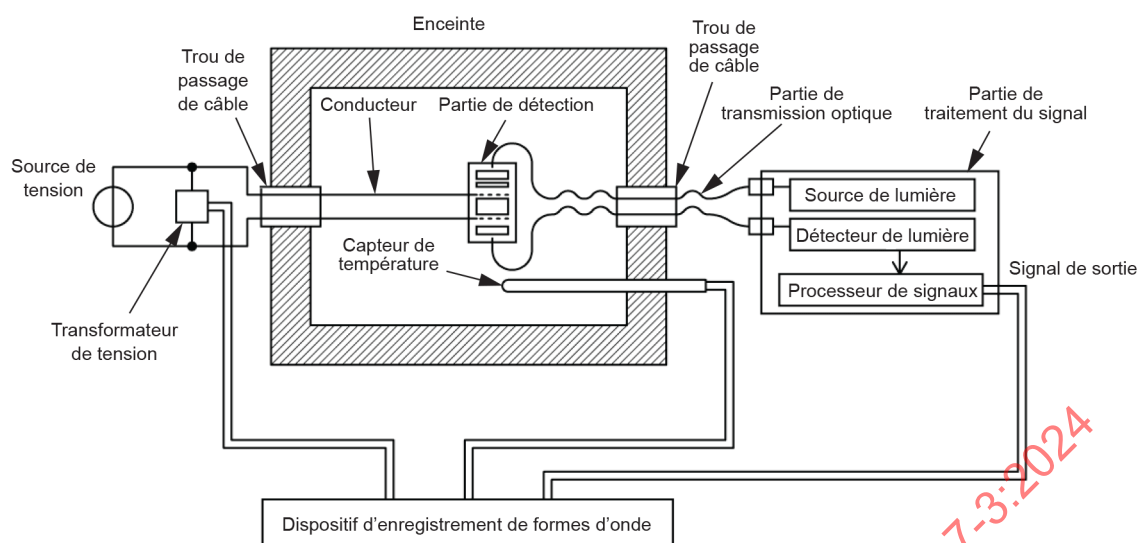
L'enceinte thermostatique doit être suffisamment grande pour permettre de loger l'objet soumis à essai dans son état installé. Lors de l'essai de la partie de détection, de la partie de transmission optique ou de la partie de traitement du signal, l'enceinte doit comporter un trou pour le passage de la partie de transmission optique, du conducteur de tension et de tout autre câble électrique.

b) Tension d'essai

Les parties de détection et de transmission optique doivent être soumises à essai à la tension assignée. La partie de traitement du signal doit être soumise à essai à la tension assignée et à la tension nulle. Si la tension assignée ne peut pas être fournie en raison des contraintes liées au montage d'essai, une tension d'essai bien supérieure à l'entrée de bruit équivalente doit être fournie. Une tension alternative monofréquence doit être appliquée dans la bande de fréquences spécifiée pour le capteur. La tension d'essai et la fréquence d'essai doivent être spécifiées dans le rapport d'essai.

c) Source de tension

Il est préférable d'utiliser une alimentation électrique à tension constante.



IEC

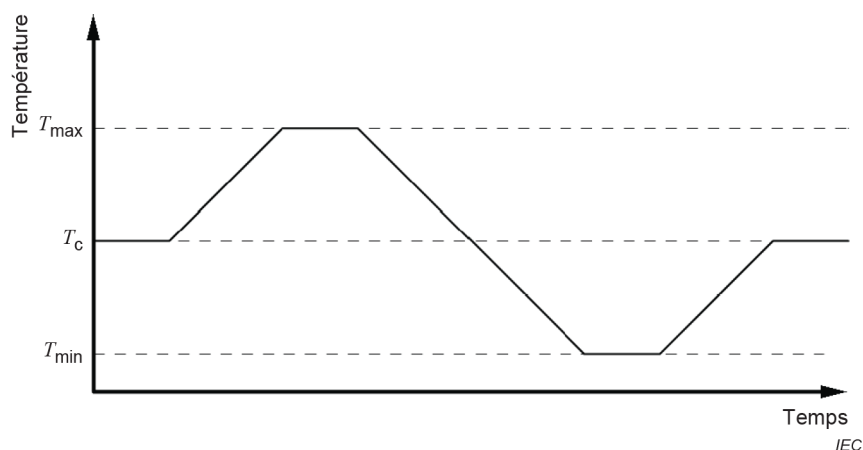
Source: OITDA FS 02 [1], reproduite avec la permission de l'OITDA.

Figure 7 – Exemple de configuration pour évaluer les caractéristiques thermiques en régime établi et en régime transitoire de la partie de détection

5.6.1.4 Méthode d'essai

La température d'essai doit être réglée à une valeur fixe comprise entre 15 °C et 35 °C (appelée T_c), à la limite supérieure de la température de fonctionnement (appelée T_{max}) et à la limite inférieure de la température de fonctionnement (appelée T_{min}).

La température d'essai et la vitesse de variation de température doivent être déterminées par le fabricant et l'utilisateur du capteur. Il est recommandé de choisir une vitesse de variation de température inférieure ou égale à 1 °C/min. La température doit être maintenue constante pendant une durée supérieure à la constante de temps thermique de l'objet en essai avant de procéder aux mesures. La Figure 8 représente un exemple des variations de température possibles (également appelé profil de température).



Source: OITDA FS 02 [1], reproduite avec la permission de l'OITDA.

Légende

- T_c tout point entre 15 °C et 35 °C
- T_{max} limite supérieure de la température de fonctionnement
- T_{min} limite inférieure de la température de fonctionnement

Figure 8 – Exemple de profil de température

5.6.1.5 Évaluation

Les caractéristiques thermiques en régime établi s'évaluent par une mesure de l'erreur et du déphasage en sortie du capteur de tension optique dans la gamme des températures de fonctionnement, et par une comparaison du résultat avec les spécifications exigées.

5.6.2 Essai des caractéristiques thermiques en régime transitoire

5.6.2.1 Généralités

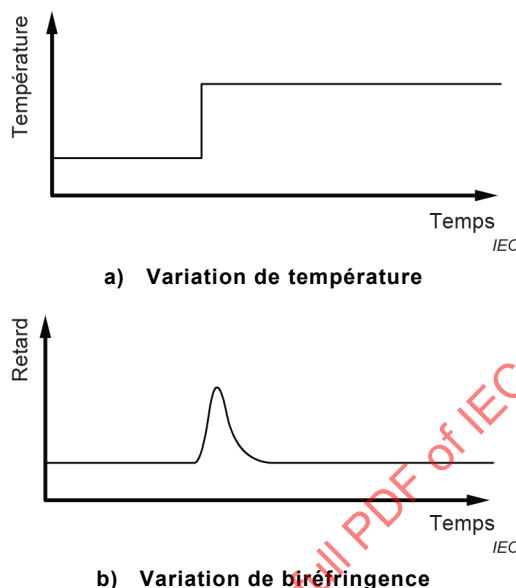
Lorsque la température ambiante de la partie de détection varie, la distribution de température à l'intérieur de la partie de détection peut devenir non uniforme. Si cela se produit, la lumière polarisée peut être influencée par les effets thermiques affectant les propriétés des matériaux optiques, telles que la photoélasticité, qui peuvent à leur tour avoir un impact sur la sortie du capteur de tension optique et conduire à des erreurs de mesure. Les variations thermiques peuvent également générer des charges électriques en raison de l'effet pyroélectrique, ce qui peut également conduire à des erreurs de mesure. De plus, lorsque les caractéristiques thermiques de l'élément optique et du circuit électronique sont compensées par l'utilisation d'un capteur de température pour un réglage adaptatif, il est à craindre que la température au point de mesure diffère de celle de l'élément optique et du circuit électronique. Lorsque le capteur de tension optique est utilisé dans un environnement dont la température varie, il ne suffit pas de soumettre à essai les caractéristiques thermiques uniquement dans les conditions de régime établi (c'est-à-dire avec une distribution de température uniforme). Les caractéristiques thermiques dynamiques doivent donc également être soumises à essai.

5.6.2.2 Parties à soumettre à essai

Lorsque la température de l'environnement de la partie de traitement du signal, de la partie de transmission optique ou de la partie de détection varie fortement, les caractéristiques thermiques en régime transitoire de ces éléments doivent être mesurées séparément.

a) Partie de détection

La partie de détection est placée dans l'enceinte thermostatique. La température de l'enceinte est ensuite modifiée à une vitesse correspondant à la vitesse rencontrée dans l'environnement d'utilisation réel, comme représenté à la Figure 9 a). Pendant que la température de l'enceinte varie, la sortie du capteur de tension optique est mesurée, comme représenté à la Figure 9 b). Lorsque la température varie dans la partie de détection, la biréfringence des éléments optiques peut augmenter (ou diminuer) brusquement, ce qui peut conduire à des erreurs de mesure potentiellement importantes.



Source: OITDA FS 02 [1], reproduite avec la permission de l'OITDA.

Figure 9 – Variation de la biréfringence lorsque la température varie

b) Partie de transmission optique

Cette partie est soumise à essai si une fibre optique de maintien de polarisation ou une fibre optique filée est utilisée pour la partie de transmission optique.

c) Partie de traitement du signal

Cette partie est soumise à essai si elle comprend une fonction de réglage permettant de compenser les variations de température de l'environnement.

5.6.2.3 Configuration d'essai

La Figure 7 montre un exemple de montage d'essai pour l'évaluation des caractéristiques thermiques en régime établi et en régime transitoire de la partie de détection. Les exigences relatives au matériel d'essai et aux conditions d'essai sont les suivantes.

a) Enceinte thermostatique

L'enceinte thermostatique doit être suffisamment grande pour permettre de loger l'objet soumis à essai dans un état installé. Lorsqu'une variation de température abrupte est exigée, il convient que l'enceinte utilise un appareillage d'essai aux chocs thermiques à deux bains. Il est toutefois acceptable d'utiliser un appareillage d'essai aux chocs thermiques à un seul réservoir si une variation de température suffisante peut être obtenue. Lors de l'essai de chacune des parties de détection, de transmission optique ou de traitement du signal, l'enceinte doit comporter un trou pour le passage de la section de transmission optique et du conducteur.

b) Tension d'essai

Les parties de détection et de transmission optique sont soumises à essai à la tension assignée. La partie de traitement du signal est soumise à essai à la tension assignée et à la tension nulle. Une tension alternative monofréquence est appliquée, dont la fréquence se

situe dans la bande de fréquences spécifiée pour le capteur. La tension d'essai et la fréquence d'essai doivent être spécifiées dans le rapport d'essai.

c) Source de tension

Il est préférable d'utiliser une alimentation électrique à tension constante.

5.6.2.4 Méthode d'essai

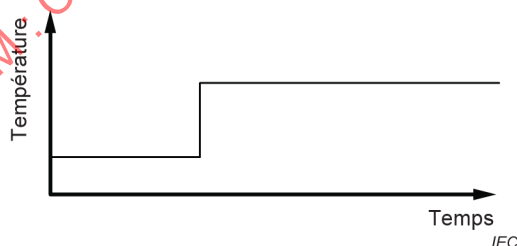
L'essai est réalisé aux limites supérieure et inférieure de la gamme des températures de fonctionnement.

La vitesse de variation de température doit être supérieure à celle prévue dans les conditions d'utilisation réelles.

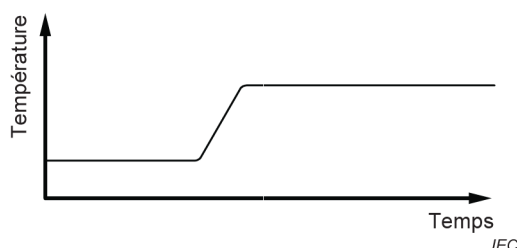
La température d'essai doit être réglée d'abord sur une certaine valeur, puis remplacée par une autre valeur, comme spécifié ci-dessous. D'autres températures d'essai, le cas échéant, doivent faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur du capteur. La température d'essai doit varier de la façon suivante:

- d'une valeur arbitraire comprise entre 15 °C et 35 °C jusqu'à la limite supérieure de la gamme des températures de fonctionnement;
- d'une valeur arbitraire comprise entre 15 °C et 35 °C jusqu'à la limite inférieure de la gamme des températures de fonctionnement;
- de la limite supérieure de la gamme des températures de fonctionnement jusqu'à une valeur arbitraire comprise entre 15 °C et 35 °C;
- de la limite inférieure de la gamme des températures de fonctionnement jusqu'à une valeur arbitraire comprise entre 15 °C et 35 °C.

La température d'essai doit être maintenue aux valeurs de début et de fin pendant une certaine durée afin de stabiliser la température dans l'enceinte thermostatique avant et après la variation de température. La sortie du capteur de tension optique est mesurée en continu depuis l'instant où la température de l'objet en essai devient stable avant la variation de température, jusqu'à l'instant où la température de l'objet en essai devient stable après la variation de température. La Figure 10 représente un exemple des variations de température.



a) Température de consigne



b) Température réelle

Source: OITDA FS 02 [1], reproduite avec la permission de l'OITDA.

Figure 10 – Exemple de programme de température

5.6.2.5 Évaluation

Les caractéristiques en régime transitoire de la température doivent être évaluées par une mesure de l'erreur maximale et du déphasage maximal de la valeur de sortie du capteur de tension optique pendant les variations de température et par une comparaison des résultats avec les spécifications exigées.

5.6.3 Essai de chocs et de vibrations

5.6.3.1 Généralités

Il convient de réaliser des essais de chocs et de vibrations, car le capteur de tension optique peut être exposé à des chocs et à des vibrations en fonctionnement normal.

5.6.3.2 Méthode d'essai

L'essai est réalisé par une mesure des variations de la valeur de sortie du capteur de tension optique lorsque des chocs et des vibrations sont appliqués aux parties de détection, de transmission optique et de traitement du signal. Les conditions de l'essai de chocs et de vibrations sont établies en prenant en compte l'environnement d'utilisation réel. Les tensions à mesurer sont la tension assignée et la tension nulle. Des informations générales sur les essais de chocs et de vibrations peuvent être consultées dans l'IEC 61300-2-1 [2] et l'IEC 61300-2-9 [3].

Il convient que les essais de chocs et de vibrations appliqués à chaque partie soient les suivants:

- a) partie de détection
 - essai de chocs
 - essai de vibrations
- b) partie de transmission optique
 - essai de chocs
- c) partie de traitement du signal
 - essai de chocs
 - essai de vibrations

5.6.3.3 Évaluation

Les essais de chocs et de vibrations sont évalués par une mesure de l'erreur de la sortie du capteur de tension optique au moment de l'application des chocs et de vibrations, et une comparaison des résultats avec les spécifications exigées.

Annexe A (informative)

Principe du capteur de tension optique

A.1 Encombrement

L'Annexe A décrit plus en détail l'effet Pockels, qui est le principe sous-jacent à la détection de tension au sein du capteur de tension fibronique. La méthode de détection de tension utilisant l'effet Pockels est également décrite.

A.2 Effet Pockels

Lorsqu'un champ électrique est appliqué de l'extérieur sur un cristal, l'état de polarisation du cristal varie, l'anisotropie de la permittivité apparaît et l'indice de réfraction de la lumière se propageant dans le cristal varie, ce qui montre une biréfringence. Il s'agit de l'effet électro-optique.

Lorsque l'indice de réfraction varie linéairement en fonction du champ électrique externe, l'effet est appelé effet Pockels. Lorsque la variation d'indice est proportionnelle au carré du champ électrique, il s'agit de l'effet Kerr.

L'effet Pockels et l'effet Kerr ne se produisent pas simultanément. Un seul effet apparaît de manière prédominante en raison de la symétrie du cristal qui constitue la substance ou la structure de la molécule de polarisation de la substance.

L'effet Pockels, qui est l'effet électro-optique de premier ordre, est le principe de base du capteur de tension optique (voir Figure A.1).

Comme représenté à la Figure A.1, une onde lumineuse se propageant dans un cristal présentant l'effet Pockels est décomposée en deux ondes polarisées orthogonales, e_x et e_y , qui sont perpendiculaires à la direction de propagation de la lumière et ont des plans de polarisation dans deux directions spécifiques, déterminées par les propriétés de la substance.

La différence entre les indices de réfraction de ces ondes polarisées est linéairement proportionnelle au champ électrique E appliqué à la substance, comme représenté dans la Formule (A.1).

$$n_x - n_y = n_o^3 r_p E \quad (\text{A.1})$$

où

n_o est l'indice de réfraction lorsqu'aucun champ électrique n'est appliqué;

n_x, n_y sont respectivement les indices de réfraction pour les ondes polarisées x et y e_x et e_y , respectivement;

r_p est le coefficient de Pockels.

Étant donné que la vitesse de propagation de chaque onde polarisée est donnée par la vitesse de la lumière dans le vide divisée par l'indice de réfraction correspondant, un déphasage $\Delta\theta$ se produit entre les deux ondes polarisées lorsque la lumière quitte une substance de longueur L . Le déphasage $\Delta\theta$ est linéairement proportionnel au champ électrique appliqué E , comme représenté dans la Formule (A.2).