

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Fibre optic sensors –

Part 4-3: Electric current measurement – Polarimetric method

Capteurs fibroniques –

Partie 4-3: Mesure du courant électrique – Méthode polarimétrique

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61757-4-3:2020



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2020 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigendum or an amendment might have been published.

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and once a month by email.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: sales@iec.ch.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

67 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

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.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 000 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

67 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Fibre optic sensors –

Part 4-3: Electric current measurement – Polarimetric method

Capteurs fibroniques –

Partie 4-3: Mesure du courant électrique – Méthode polarimétrique

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 33.180.99

ISBN 978-2-8322-8729-3

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.....	5
INTRODUCTION.....	7
1 Scope.....	8
2 Normative references	8
3 Terms and definitions	8
4 Components of optical current sensor using polarimetric method.....	10
4.1 General descriptions	10
4.2 Classification of Faraday elements.....	11
5 Characteristic test	12
5.1 General information	12
5.2 Output power of light source	12
5.3 Input power of light detector.....	13
5.4 I/O characteristics.....	13
5.4.1 General	13
5.4.2 Test method	14
5.4.3 Test procedure	16
5.4.4 Evaluation	18
5.5 Warm-up time	19
5.5.1 General	19
5.5.2 Test method	19
5.5.3 Evaluation	19
5.6 Current conditions for obtaining each parameter	19
5.7 Input parameter dependency.....	20
5.7.1 Frequency characteristic.....	20
5.7.2 Transient characteristic	20
5.8 External environment dependency	22
5.8.1 Steady state temperature characteristic test	22
5.8.2 Transient temperature characteristic test	25
5.8.3 External magnetic field test.....	27
5.8.4 Conductor position test.....	28
5.8.5 Vibration test	29
Annex A (informative) Principle of optical current sensor	30
A.1 Outline	30
A.2 Faraday effect.....	30
A.3 Types of Faraday element.....	31
A.4 Conversion of the Faraday effect into an electric signal	31
A.4.1 Detection of the Faraday effect of nonmagnetic material.....	31
A.4.2 Detection of the Faraday effect of ferromagnetic material	31
A.5 Current detection method.....	32
A.5.1 General	32
A.5.2 Examples of current detection method	32
Annex B (informative) Features of optical current sensor technology	35
Annex C (informative) Design considerations	36
C.1 General information	36
C.2 Performance restricting factors	36
C.3 Procedure for determining the specifications of the equipment.....	37

Annex D (informative) Optical current sensor output in the application of other phase magnetic fields.....	39
D.1 Ampere's circulation integral law.....	39
D.2 Influence of other phase magnetic fields	39
Annex E (informative) Measurement parameter performance table	41
E.1 General.....	41
E.2 Output power of light source	41
E.3 Input power of light detector.....	41
E.4 I/O characteristics	41
E.5 Frequency characteristics	42
E.6 Transient characteristics	43
E.7 Steady state temperature characteristics	43
E.8 Transient temperature characteristics	44
E.9 External magnetic field.....	45
E.10 Conductor positions	46
E.11 Vibration	47
Bibliography.....	48
Figure 1 – Measurement system using optical current sensor.....	10
Figure 2 – Construction of optical current sensor	11
Figure 3 – Classification of Faraday elements.....	12
Figure 4 – Example of an optical power monitor.....	13
Figure 5 – Example of the amplifying circuit of a light detector	13
Figure 6 – I/O characteristics of an optical current sensor.....	14
Figure 7 – Measurement system of waveform comparison method	15
Figure 8 – Measurement system of AC bridge method	16
Figure 9 – Transient characteristics of AC dedicated system	21
Figure 10 – Transient characteristics of DC/AC system.....	22
Figure 11 – Configuration example of steady state temperature characteristic test and transient temperature characteristic test of sensor part.....	24
Figure 12 – Example of temperature profile.....	24
Figure 13 – Birefringence change during temperature change.....	25
Figure 14 – Example of temperature programme.....	27
Figure 15 – Position of the outer conductor in the external magnetic field test when the Faraday element is an optical fibre	28
Figure 16 – Position of the conductor in the conductor position test when the Faraday element is an optical fibre	29
Figure A.1 – Faraday effect.....	30
Figure A.2 – Configuration of current detection method using Faraday effect.....	32
Figure A.3 – Basic configuration of intensity modulation type optical current sensor	33
Figure A.4 – Configuration example of intensity modulation type reflective optical current sensor.....	33
Figure A.5 – Configuration example of interference type optical current sensor.....	34
Figure D.1 – The law of Ampere's circulation integral.....	39
Figure D.2 – Image diagram of incomplete closed loop	40
Figure E.1 – Example of the transient characteristic	43

Figure E.2 – Example of the temperature characteristics at current 0	43
Figure E.3 – Example of the temperature characteristics at rated current.....	44
Figure E.4 – Example of the transient temperature characteristics at input current 0.....	44
Figure E.5 – Example of the transient temperature characteristics at rated current	45
Figure E.6 – Positions of the outer conductor.....	46
Figure E.7 – Positions of the conductor in the conductor positions test	46
Figure E.8 – Example of the vibration test at current 0	47
Figure E.9 – Example of the vibration test at rated current.....	47
Table 1 – List of parameters to be obtained	12
Table 2 – Test method	15
Table 3 – Current conditions for obtaining each parameter	19
Table E.1 – Output power of light source	41
Table E.2 – Input power of light detector.....	41
Table E.3 – I/O characteristics	41
Table E.4 – Frequency characteristics	42
Table E.5 – External magnetic field.....	45
Table E.6 – Conductor position	46

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61757-4-3:2020

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

FIBRE OPTIC SENSORS –

**Part 4-3: Electric current 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) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61757-4-3 has been prepared by subcommittee SC 86C: Fibre optic systems and active devices, of IEC technical committee TC 86: Fibre optics.

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

CDV	Report on voting
86C/1578/CDV	86C/1611/RVC

Full information on the voting for the approval of this International Standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

This document has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

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 "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific document. At this date, the document will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61757-4-3:2020

INTRODUCTION

Current measuring techniques are essential for controlling and diagnosing apparatus that support industry and society. As current measuring devices, optical current sensors based on magneto-optic effect have been developed. As these sensors enable advanced current measurement free from the issues related to conventional current sensors based on electromagnetic induction, they have been applied in various fields including power systems.

Given the expectations for the potential of this sensing technology, various kinds of optical current sensors for various applications have been proposed by manufacturers. With this background, there are many kinds (target current for measurement, configuration of sensor, signal processing method, installation method) of optical current sensors for various applications. When developing a new optical current sensor, the evaluation and design of performance and characteristics are carried out in each case.

For promoting the dissemination of optical current sensors, it is important to define the terms representing performance and functionality of the optical current sensor, which is manufactured on the basis of sensing technology. It is also important to make clear how to evaluate such terms. This makes it possible to design the sensor efficiently and properly and to transfer the sensor smoothly from a supplier to a user by settling these issues. Under these circumstances, a set of methods is summarized in this document for evaluating the performance and characteristics of optical current sensors. As the required performance for a sensor depends on its application, the performance is not defined quantitatively in this document. However, with the help of this document, the quantitative measures of sensor performance will be defined in designing the sensor itself in anticipation of its practical application.

This document is based on standard OITDA FS 01 published by the Optoelectronics Industry and Technology Development Association (OITDA).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61757-4-3:2020

FIBRE OPTIC SENSORS –

Part 4-3: Electric current measurement – Polarimetric method

1 Scope

This part of IEC 61757 defines terminology, structure, and a characteristic test method of an optical current sensor using the polarimetric method. It addresses the current sensing element only and not the additional devices that are unique to each application. Generic specifications for fibre optic sensors are defined in IEC 61757.

As the specifications of optical polarimetric fibre current sensors required by each user vary depending on the application, this document does not define the required performance values. The required performance values are defined when designing a sensor according to the 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 terminological databases for use in standardization at the following addresses:

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

3.1

current conducting coil

air-core coil made of lead wires that applies electric current, which is used to apply the equal magnetic field generated by the current to be measured to an optical fibre or a bulk-form Faraday element when conducting a characteristic test of optical current sensor

3.2

external magnetic field

magnetic field generated from anywhere other than the conductor where the current to be measured is passing in an optical current sensor

3.3

Faraday effect

circular birefringence that is generated when an external magnetic field is imposed on a substance

Note 1 to entry: The Faraday effect is a kind of magneto-optical effect. "Magneto-optical effect" is a general term that means the effect of a magnetic field on the optical characteristics of particles or crystal. In addition to the Faraday effect, there are other magneto-optical effects such as the Zeeman effect, magnetic birefringence, magnetic circular dichroism, the magnetic Kerr effect, and magneto-oscillatory absorption.

3.4

Faraday element

optical element for detecting Faraday effect

3.5

Faraday mirror

reflecting mirror that rotates the polarization angle by the Faraday effect

3.6

intensity modulation method

method of converting the rotation of a polarization plane to light intensity and generating an optical signal that corresponds to the current to be measured by passing light, first through a sensing element and then through a polarization separation element, in an optical current sensor

3.7

interferometric method

method of generating an optical signal that corresponds to the current to be measured by an optical current sensor by converting the left-handed and right-handed circularly polarized light that passed through the Faraday element to the same polarization, then interfering with each other to convert the polarized light to the light intensity

3.8

maximum measurable current

maximum measurable value of the current to be measured by an optical current sensor

3.9

maximum measurable frequency

maximum measurable frequency of the current to be measured by an optical current sensor

3.10

minimum measurable frequency

minimum measurable frequency of the current to be measured by an optical current sensor

3.11

operating temperature range

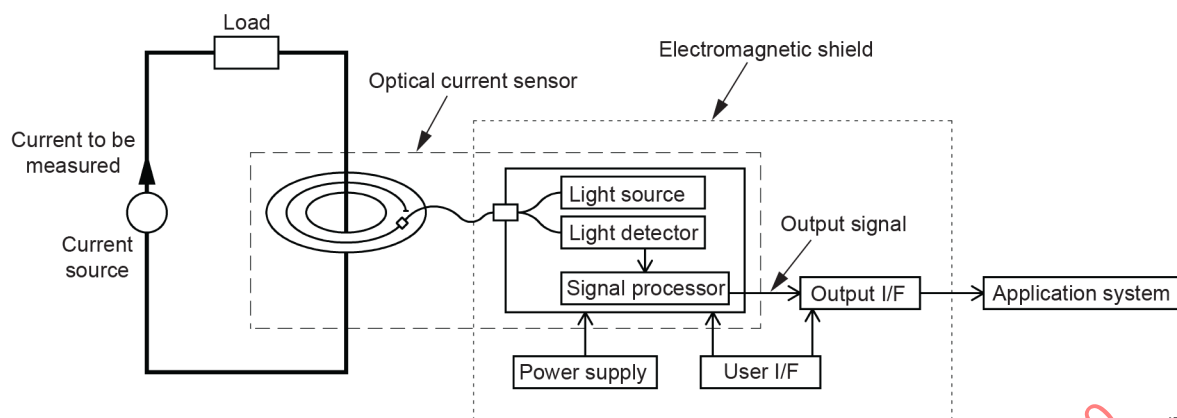
range of temperatures within which an optical current sensor satisfies the defined performances

3.12

optical current sensor

part, module, sub-assembly, assembly, or equipment that measures the electric current using fibre optic technology

Note 1 to entry: Optical current sensors are commonly used with power supplies, user interface, and electromagnetic shields, as shown in Figure 1. The output signal is arranged in a signal form required by the output interface, and a signal is sent to an application system such as an oscilloscope or a control system. An optical current sensor using the polarimetric method consists of the sensor part, optical transmission part, and signal processing part (see Clause 4).



IEC

Key

I/F interface

Figure 1 – Measurement system using optical current sensor

3.13

optical part

part consisting of lens, prism, mirror, and optical element, such as a phase modulator, in an optical current 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.

3.14

outer conductor

conductor other than the conductor in which the current to be measured is passing in an optical current sensor

3.15

rated current

value of the current to be measured by an optical current sensor that is used as a basis for showing the performance in a given test under defined conditions

3.16

required specifications

list of specifications an optical current sensor satisfies

3.17

spun optical fibre

optical fibre that is manufactured by rotating a preform at high speed in the drawing process

3.18

transient characteristic

phenomenon of changing the current value that is output from an optical current sensor when the current to be measured fluctuates from the defined current value in a short period of time

4 Components of optical current sensor using polarimetric method

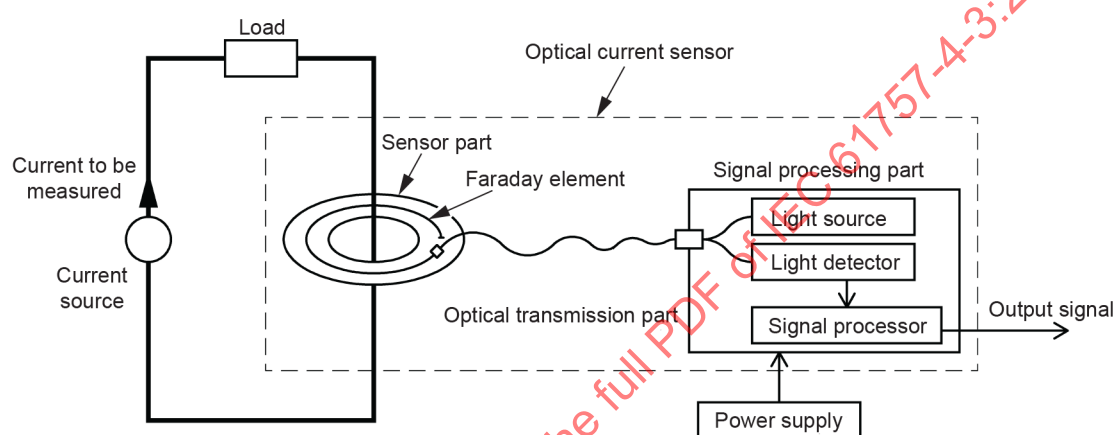
4.1 General descriptions

Figure 2 shows the construction of an optical current sensor. For exposing each part to a different environment, this document focuses on the position of each part and divides the sensor into three parts.

In the optical current sensor, a portion of a Faraday element that is adjacent to the conductor and is affected by the Faraday effect is connected with a portion that houses a processing circuit outputting a current calculation value via optical fibre, and each portion is exposed to a different environment in general. In this case, while a portion in which the Faraday element is arranged and exposed to the same environment is called a sensor part, a portion containing a processing circuit for outputting the current calculation value is called the signal processing part, and an optical fibre that connects the sensor part and the signal processing part is called the optical transmission part. For the specific functions of each part, see Annex A.

NOTE The sensor part can have elements of controlling polarization and phase at the same time in addition to Faraday elements. The signal processing part can have elements of controlling polarization and phase at the same time in addition to a light source, a power supply, and a light detector.

For the features expected of an optical current sensor, see Annex B. For design considerations of an optical current sensor, see Annex C.



IEC

Figure 2 – Construction of optical current sensor

4.2 Classification of Faraday elements

The classification of Faraday elements is shown in Figure 3. As a method of propagating light in a Faraday element, a waveguide type element is used. This is an element having a waveguide structure for guiding light by providing difference in refractive index in a sensor. While candidates for the waveguide type element include optical fibres and planar waveguides, only the optical fibre type is currently put to practical use.

There is also a bulk type element that guides light into a sensor using a lens and mirror without utilizing a difference in refractive index. The element made of a nonmagnetic material and that made of a ferromagnetic material are distinguished from each other based on the element material used.

Bulk type sensors use optical fibres for signal transmission, and the optical fibres themselves are not Faraday elements.

This document is applicable to both waveguide element and bulk element sensors using optical fibre technology.

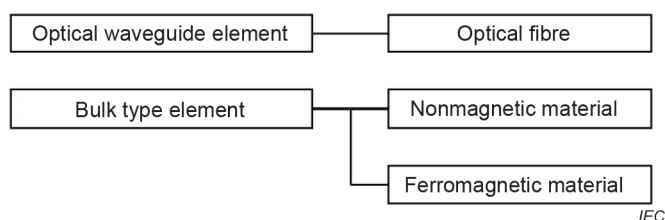


Figure 3 – Classification of Faraday elements

5 Characteristic test

5.1 General information

Clause 5 specifies a characteristic test method of the optical current sensor. Output power of light source, described in 5.2, and input power of light detector, described in 5.3, shall be measured at the beginning of a characteristics test to confirm normal operation of the light source and optical part. The input-output (I/O) characteristics described in 5.4 are the basis of the test. Subclause 5.5 describes the warm-up time, which often is not considered in conventional current sensors. In 5.6 through 5.8, definition of the dependency of parameters is made that is recommended for testing and the dependence on external environment in the test method for each factor. Subclause 5.6 describes the current condition for obtaining each parameter. The parameter list to be acquired is shown in Table 1. For each parameter, requirement (R) or option (O) is shown. Measurement results are summarized in the inspection report (see Annex E) and shown to the user.

Table 1 – List of parameters to be obtained

No.	Parameters			Requirement (R) or option (O)
1	Output power of light source			R
2	Input power of light detector			
3	I/O characteristics			
4	Warm-up time			
5	Parameter dependency	Input parameter dependency	Frequency characteristic	R for type test
			Transient characteristic	R for type test
		External environment dependency	Steady state temperature characteristic	R for type test O in routine test for outdoor use sensor
			Transient temperature characteristic	R for type test O for routine test for outdoor use sensor
			External magnetic field	O
			Conductor position	O
			Vibration	O

5.2 Output power of light source

Output power of the light source shall be measured in a routine test using one of the following methods:

- measure the output power of the light source by optical power meter;
- measure the output signal of the optical power monitor.

Figure 4 is an example of the optical power monitor. The light source is often provided with a photodiode for the power monitor, which can be used. By amplifying the signal of the photodiode, an output of optical power monitor is obtained.

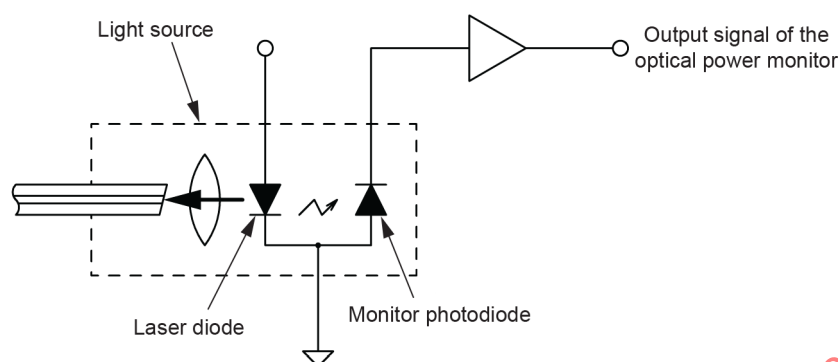


Figure 4 – Example of an optical power monitor

5.3 Input power of light detector

Input power of the light detector shall be measured in a routine test using one of the following methods:

- measure the input power of the light detector by optical power meter;
- measure the output signal of the light detector.

For example, as shown in Figure 5, the output of the light detector can be amplified.

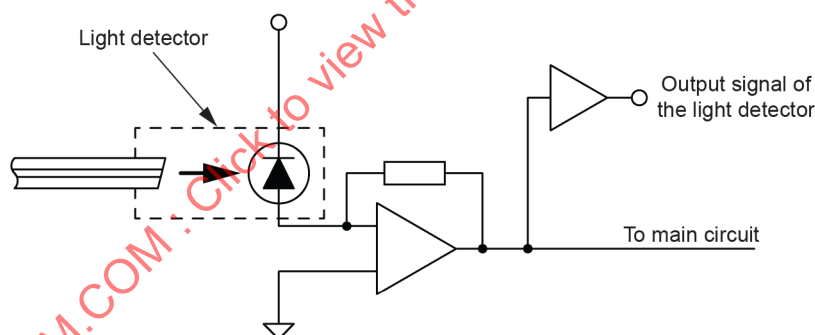


Figure 5 – Example of the amplifying circuit of a light detector

5.4 I/O characteristics

5.4.1 General

I/O characteristics are the most basic characteristics of optical current sensors. Figure 6 shows the I/O characteristics of the optical current sensor. Ideally, the current to be measured and the output instruction value are the same, but an error actually occurs. The error is classified into the following three factors.

a) Noise

Unnecessary output. Particularly, the DC components are called offsets and should be distinguished from noise. Some noises are correlated with the current to be measured, and some noises are not. Therefore, they shall be acquired separately.

b) Sensitivity change

A phenomenon of changing sensitivity that is the proportionality coefficient of the output against the input.

c) Non-linearity

The phenomenon that the sensitivity changes, and the relationship between the output and the input deviates from a straight line.

NOTE 1 When a ferromagnetic material is used as a Faraday element, nonlinearity due to magnetic saturation appears.

NOTE 2 When a non-magnetic material is used as a Faraday element, no saturation phenomenon appears. However, nonlinearity due to the signal processing method sometimes appears.

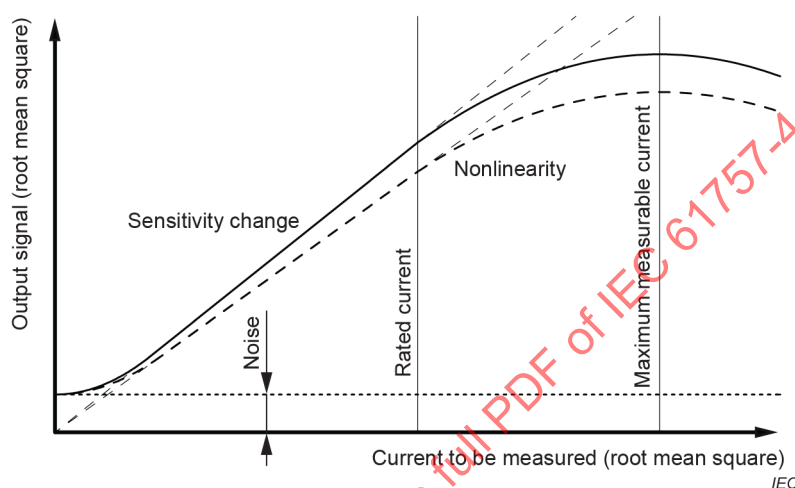


Figure 6 – I/O characteristics of an optical current sensor

These errors give the sensor output fluctuation as indicated by the dotted line in Figure 6.

Since the above error behaves differently against error factors defined in 5.8.1 and 5.8.5, etc., these errors shall be obtained for noise, sensitivity change, and nonlinearity, respectively.

Generally, in the optical current sensor, when the current to be measured is larger than a certain value, the output saturates, and the phenomenon of output decrease is seen, as shown in Figure 6. The manufacturer of the optical current sensor specifies the maximum measurable current at a value that is lower than the current at which the output signal no longer increases with increasing current due to such saturation and defines said value in the specifications. The manufacturer also determines the rated current as the upper limit of current measurement with high accuracy without being affected by saturation and defines it in the specifications.

Due to noise, sensitivity change and non-linearity, the actual sensor output varies between the solid line and the broken line in Figure 6.

5.4.2 Test method

Table 2 shows test methods for grasping error components consisting of noise, sensitivity change, and nonlinearity of the optical current sensor. The test shall be performed by a waveform comparison method using a waveform recording device such as an oscilloscope. However, when testing a nonlinearity of 1 % or less with an analogue output, and if sufficient accuracy is not achieved in a waveform recording device such as an oscilloscope, the bridge method can apply in addition to the waveform comparison one.

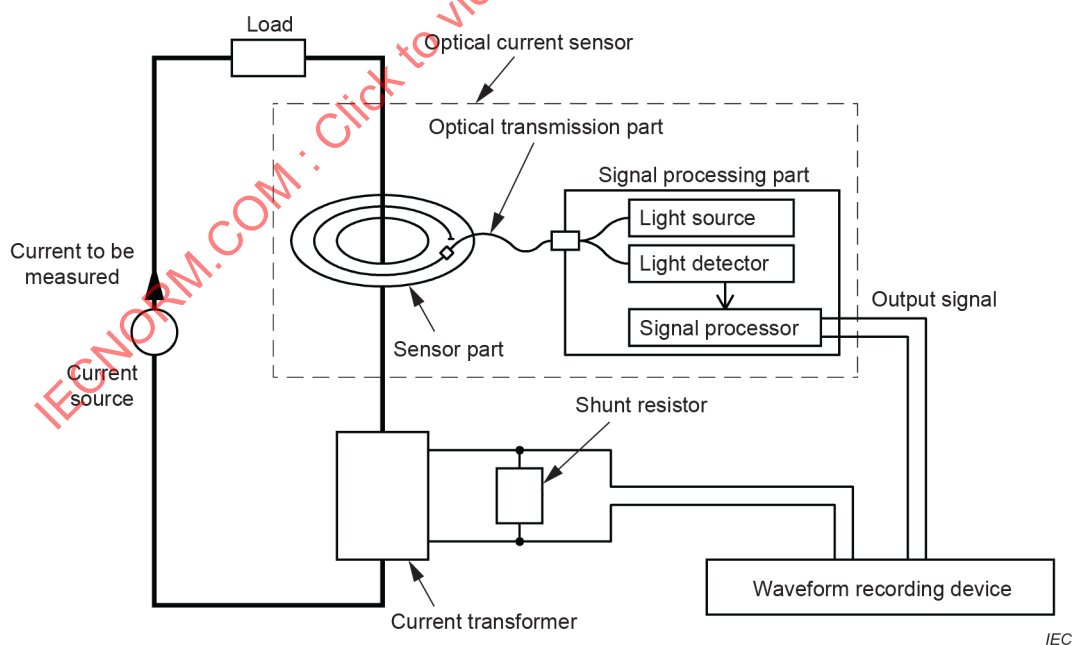
Table 2 – Test method

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	NA ^a
Sensitivity change	Waveform comparison method	Waveform comparison method	Bridge method
Nonlinearity	Waveform comparison method	Waveform comparison method	Bridge method
^a Not applicable.			

Following are examples of test configurations using the waveform comparison method and the AC bridge method.

a) Waveform comparison method

Figure 7 shows an example of the test configuration of the characteristic test using the waveform comparison method. A current transformer or a shunt resistor can be used as a standard for comparison. Figure 7 is an example using a current transformer. The current measured by the current transformer and the output of the optical current sensor are measured and recorded in a waveform recording device such as an oscilloscope or a data logger. The current transformer or shunt resistor and the waveform recording apparatus shall have sufficient accuracy in the test frequency band. Data shall be recorded as digital data in order to calculate errors and phase difference in 5.4.4. To avoid aliasing errors occurring at the time of digitization, an antialias filter that sufficiently attenuates signals other than the measuring frequency band of the waveform recording apparatus shall be installed before the waveform recording apparatus.

**Figure 7 – Measurement system of waveform comparison method**

b) AC bridge method

In the case of a waveform recording apparatus such as an oscilloscope, if the accuracy is insufficient, a null method should be used concurrently. Figure 8 shows an example of a test configuration with an optical current sensor with analogue voltage output. A current transformer or a shunt resistor can be used as a standard for comparison. An impedance

used for balancing with the optical current sensor is a combination of a shunt resistor, a variable resistor, and a variable capacitor. A sensitivity change of the optical current sensor is obtained from the equilibrium point. As only sensitivity change and nonlinearity prescribed in 5.4.1 can be obtained in this method, noise shall be acquired by the waveform comparison method as described in a).

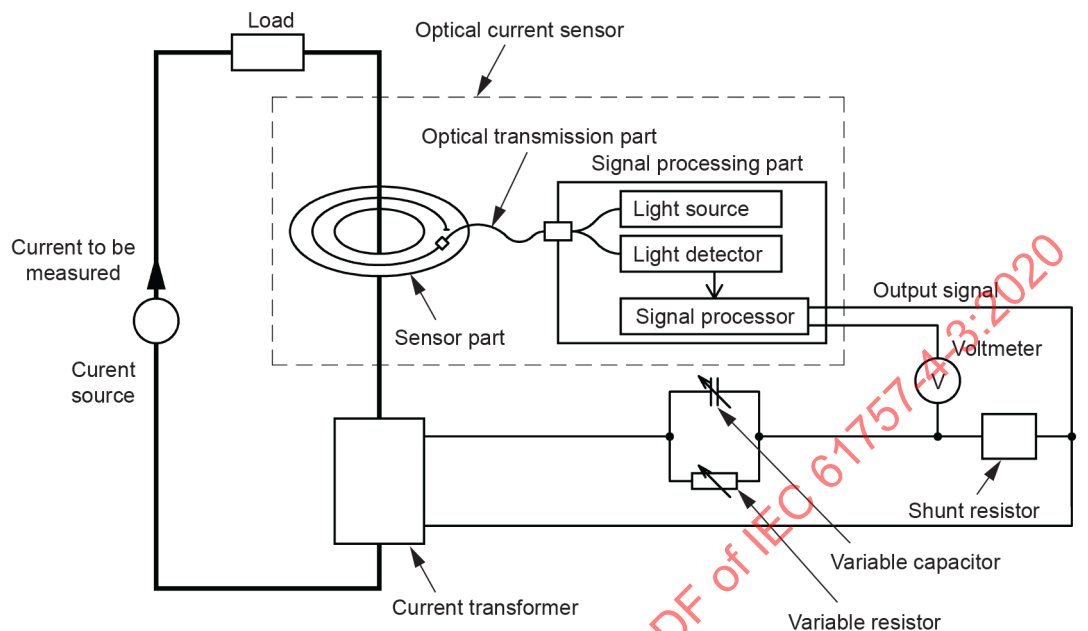


Figure 8 – Measurement system of AC bridge method

5.4.3 Test procedure

5.4.3.1 In the case of AC or AC/DC dual use

To understand the noise, sensitivity change, and nonlinearity described in 5.4.1, the waveform of the standard for comparison shall be compared with the output waveform of the optical current sensor while changing the current to be measured. This comparison is conducted at the test current values listed below, where the current to be measured ranges from zero to the maximum measurable current.

a) At zero current

1) Noise

The noise intensity should be obtained at each frequency using a frequency analysis (fast Fourier transform) function of an oscilloscope as much as possible. In particular, it is highly likely that the frequency component of the current to be measured and its harmonics adversely affect the system.

b) At the noise equivalent current and at approximately twice that value

- 1) Separate the noise into a component that is correlated with the current and into one that is not correlated with the current.
- 2) In the case where the noise I_{noise} is included, the amplitude of the AC component of the optical current sensor output I_O is expressed by Equation (1).

$$I_O = I_{\text{signal}} + I_{\text{noise}} \quad (1)$$

where

I_O is the amplitude of the AC component of the optical fibre current output;

I_{signal} is the value of the current to be measured;

I_{noise} is the noise.

- 2) If I_{noise} is not correlated with the current, which is the case when the noise I_{noise} disappears in Equation (1) after a sufficiently long measurement time over which the waveform is averaged, then Equation (1) becomes Equation (2).

$$I_O = I_{\text{signal}} \quad (2)$$

- c) At several points between the current that are approximately twice the noise equivalent current and the rated current.

This is for accurate measurement sensitivity change.

- d) At several points between the rated current and the maximum measurable current.

This is for accurate measurement non-linearity.

In the waveform comparison method, the data acquired by the waveform recording device is sinusoidally approximated by the least squares method to find the amplitude and phase. Sinusoidal approximation is performed in Equation (3) for the current to be measured that is measured by the standard for comparison, and in Equation (4) for the optical current sensor output.

$$i_I = I_I \times \sin(\omega \times t + \theta_I) + I_{\text{DCI}} \quad (3)$$

where

i_I is the current to be measured that is measured by standard for comparison;

I_I is the amplitude of the AC component of the current to be measured;

I_{DCI} is the DC component of the current to be measured;

t is time;

ω is the angular frequency of the current to be measured;

θ_I is the phase of the current to be measured.

$$i_O = I_O \times \sin(\omega \times t + \theta_O) + I_{\text{DCO}} \quad (4)$$

where

i_O is the optical current sensor output;

I_O is the amplitude of the AC component of the optical current sensor output;

I_{DCO} is the DC component of the optical current sensor output;

t is time;

ω is the angular frequency of the current to be measured (which is equal to the angular frequency of optical current sensor);

θ_O is the phase of the optical current sensor output.

5.4.3.2 In the case of DC use

To understand the noise, sensitivity change, and nonlinearity described in 5.4.1, the waveform of the standard for comparison shall be compared with the output waveform of the optical current sensor while changing the current to be measured. This comparison is conducted at the current values listed below.

- a) At zero current

Find the offset from the average value of the optical current sensor output at the zero current.

- b) At several points between the current that are approximately twice the noise equivalent current and the rated current

This is for accurate measurement sensitivity change.

- c) At several points between the rated current and the maximum measurable current

This is for accurate measurement nonlinearity.

5.4.4 Evaluation

5.4.4.1 In the case of AC or AC/DC dual use

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

a) Error

Error should be expressed with a full-scale error defined in Equation (5). Other notation methods may be used as necessary.

$$\varepsilon_{FS} = \frac{I_O - I_I}{I_{FS}} \quad (5)$$

where

ε_{FS} is full scale error;

I_I is the amplitude of the AC component of the current to be measured;

I_O is the amplitude of the AC component of the optical current sensor output;

I_{FS} is the maximum measurable current.

b) Phase difference

The phase difference δ between the current to be measured and the optical current sensor output is obtained by Equation (6), based on θ_O and θ_I , which are acquired by approximation to Equations (1) and (2).

$$\delta = \theta_O - \theta_I \quad (6)$$

where

θ_O is the phase of the optical fibre current output;

θ_I is the phase of the current to be measured.

c) Noise

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

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

5.4.4.2 In the case of DC use

The input/output characteristic test shall be performed by comparing the error of the optical current sensor output with the required specifications.

Errors should be expressed with a full-scale error defined in Equation (7). Other notation methods may be used as necessary.

$$\varepsilon_{FS} = \frac{I_{ODC} - I_{IDC}}{I_{FS}} \quad (7)$$

where

ε_{FS} is full-scale error;

I_{IDC} is the average value of the current to be measured;

I_{ODC} is the average value of the optical fibre current output;

I_{FS} is the maximum measurable current.

5.5 Warm-up time

5.5.1 General

The optical current sensor does not satisfy the required characteristics until a certain period of time has elapsed from the time when the power supply is turned on. For this reason, the warm-up time is described in the required specifications of the optical current sensor that clearly indicate that the required performance is not fulfilled until such time has elapsed.

5.5.2 Test method

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

5.5.3 Evaluation

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

5.6 Current conditions for obtaining each parameter

Current conditions for obtaining each parameter are shown in Table 3.

Table 3 – Current conditions for obtaining each parameter

Items	Characteristics	Optical current sensor output at zero current	Sensitivity and phase at rated current	Sensitivity and phase at maximum measurable current	Subclause describing test method
Input parameter dependency	Frequency characteristic	NA ^a	x ^b	x	5.7.1
	Transient characteristic	NA	x	x	5.7.2
External environment dependency	Steady state temperature characteristic	x	x	x	5.8.1
	Transient temperature characteristic	x	x	NA	5.8.2
	External magnetic field	x	NA	NA	5.8.3
	Conductor position	x	NA	NA	5.8.4
	Vibration	x	x	NA	5.8.5
^a NA indicates that implementation is not applicable.					
^b x indicates that implementation is recommended.					

5.7 Input parameter dependency

5.7.1 Frequency characteristic

5.7.1.1 General

The frequency characteristic of the optical current sensor depends on each frequency characteristic of the sensor part, the optical transmission part, and the signal processing part. Since the sensitivity of the sensor part and the optical transmission part is constant from DC to several tens of megahertz, the frequency characteristic of the optical current sensor mainly comes from that of the signal processing part. In the case of using a filter for eliminating noise and/or preventing a folding error generated at the time of sampling, the signal processing part shows a frequency characteristic depending on the band of the filter.

5.7.1.2 Test method

The signal processing part output is measured at frequencies of several points or tens of points from the minimum measurable frequency to the maximum measurable frequency under a constant current to be measured. The value of current to be measured should basically be at the rated current and the maximum measurable current. If rated current or maximum measurable current cannot be passed due to limitations of the test equipment, the value of current to be measured shall be specified on the test report.

5.7.1.3 Evaluation

The frequency characteristic is evaluated by comparing the error and the phase of the output of the signal processing part with the required specifications.

5.7.2 Transient characteristic

5.7.2.1 Purpose

The transient characteristic of the optical current sensor defines the time it takes for the output of the signal processing part to return to the steady state when the current to be measured abruptly increases or decreases. As a method of testing this characteristic, it is desirable to use a step response. As described in 5.7.1, while the sensor part and the optical transmission part have bands of several tens of megahertz or more, the signal processing part uses a low-pass filter and, therefore, has a response delay depending on the band of the filter. For this reason, transient characteristics shall be obtained. Performance parameters to be measured are:

t_r rise time;

t_d delay time;

t_p peak time;

t_s settling time;

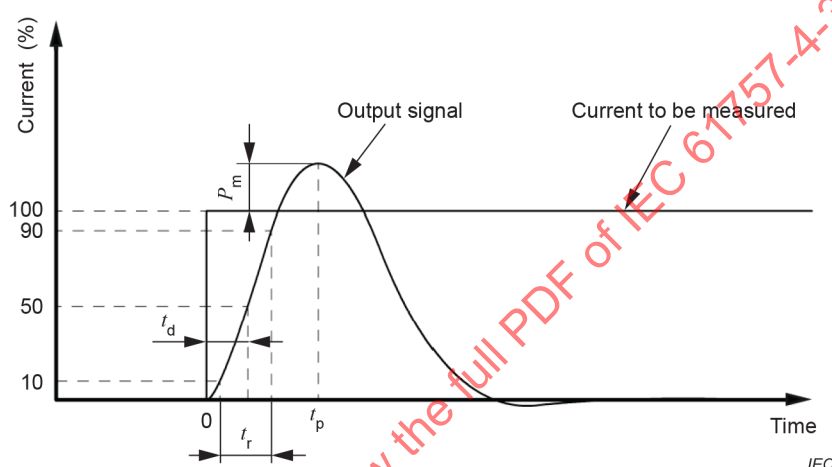
P_m overshoot.

5.7.2.2 Test method

The transient characteristic test has two methods: an AC dedicated method and a DC/AC dual method. The transient characteristics in these methods are shown below.

a) AC dedicated method

Figure 9 shows transient characteristics of the AC dedicated system. When the step waveform is input to the sensor part, the output of the signal processing part first rises behind the step waveform, and eventually converges into zero. For this reason, the transient characteristics shall be tested at the rising response time in the AC dedicated system and the rise time, the delay time, the overshoot time, and the overshoot amount shall be measured. The rise time is a time when the output of the signal processor changes from 10 % to 90 % of the step wave, and the delay time is the time when the output of the signal processor changes from 0 % to 50 %.



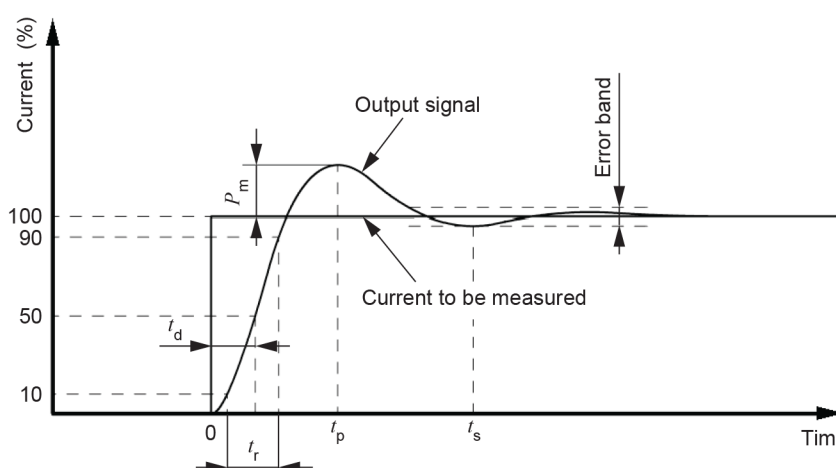
Key

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

Figure 9 – Transient characteristics of AC dedicated system

b) DC/AC dual method

Figure 10 shows transient characteristics of the DC/AC system. In the DC/AC method, since the current to be measured can be measured from DC to AC, when a step waveform is input to the sensor part, the signal processing part output rises behind the step waveform and eventually converges to the same crest value as that of the step waveform. Therefore, in the DC/AC system, the transient characteristics shall be tested with the rising response time and the time to return to the steady state and the rise time, the delay time, the overshoot time, the set time, and the overshoot amount shall be measured. The method of calculating the rise time and the delay time is the same as that of the AC dedicated method.



Key

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

Figure 10 – Transient characteristics of DC/AC system

5.7.2.3 Evaluation

The transient characteristics of the optical current sensor are evaluated by comparing the rise time, delay time, peak time, settling time, and overshoot amount of the signal processing part output against the step waveform input to the sensor part with required specifications.

5.8 External environment dependency

5.8.1 Steady state temperature characteristic test

5.8.1.1 Purpose

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

5.8.1.2 Parts to be tested

If the temperature changes significantly due to the environment of the signal processing part and the sensor part, the temperature characteristics of both shall be tested separately.

a) Sensor part

The rotation angle of the polarization plane due to Faraday effect depends on the strength of the magnetic field and the Verdet constant. Since the Verdet constant is temperature-dependent, a test is carried out to confirm that the required specifications are satisfied within the operating temperature range. There are some cases where the influence of the temperature dependence of the optical element included in the optical part is too large to be ignored compared with the output.

b) Optical transmission part

The test is carried out if the temperature characteristic in the optical transmission part can affect the required specifications of the optical current sensor. For example, when polarization-maintaining fibres are applied to the optical transmission part, there is a concern that the polarization crosstalk increases under high-temperature and/or low-temperature environments, thereby affecting the performance of the optical current sensor. It is desirable that the length of the optical transmission part be set at the assumed maximum distance at the time of practical use.

c) Signal processing part

The performance of electric/electronic parts that constitute a circuit has temperature dependency. It is also known that the light source has temperature dependence on light output and wavelength, and the light detector has dependence on dark current and sensitivity. Since thermal noise increases as temperature increases, attention shall be paid to noise increase, especially under a high-temperature environment.

5.8.1.3 Test configuration

Figure 11 shows a configuration example of the steady state temperature characteristic test and the transient temperature characteristic test of the sensor part. Requirements for test equipment and conditions are as follows.

a) Temperature chamber

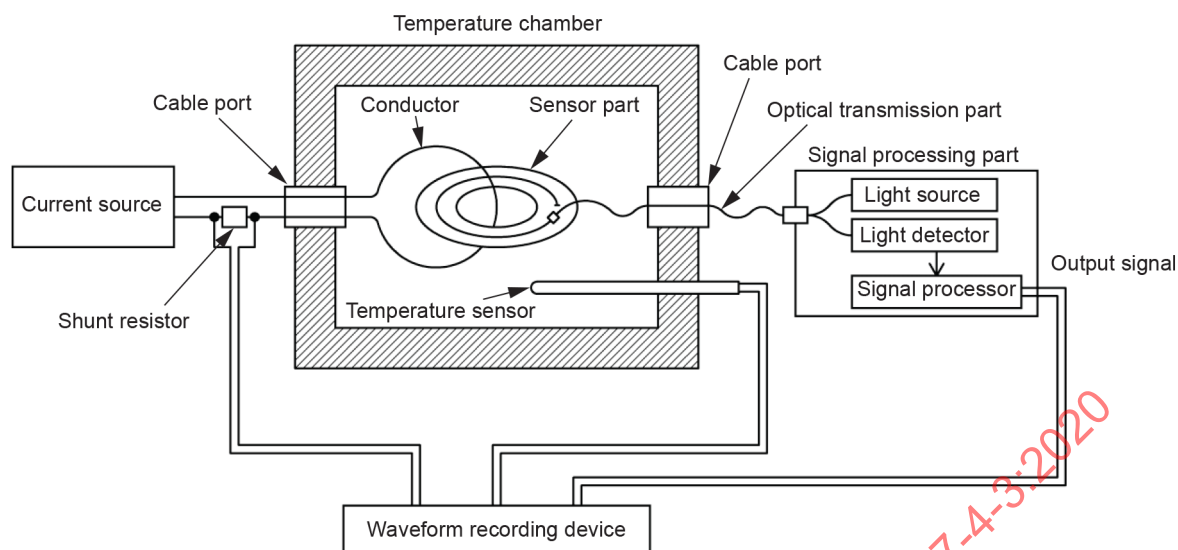
The temperature chamber has an inner dimension that can house the test object in an installed state. When testing each sensor part, the optical transmission part or the signal processing part, the chamber shall have a cable hole for passing the optical transmission part and the conductor.

b) Test current

The sensor part and the optical transmission part are operated at the rated current. The signal processing part is operated at the rated current and zero current. If the rated current cannot be supplied to the conductor due to test constraints, a magnetic field equivalent to the rated current is equivalently applied to the test object using an energizing coil, or a current sufficiently larger than the equivalent noise input is passed to the energizing coil. Single frequency applies, which is determined within the test frequency band specified in the specifications. The test current value, the number of energized coil turns, and test frequency shall be specified in the test report.

c) Current source

It is desirable to use a constant current power supply.



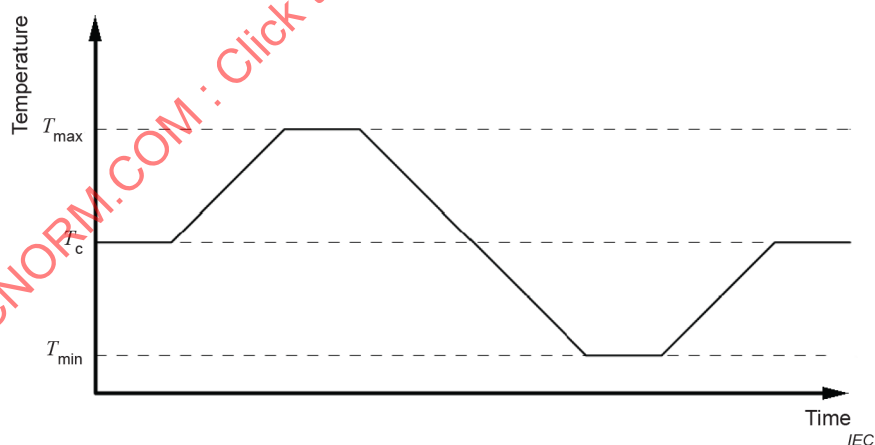
IEC

Figure 11 – Configuration example of steady state temperature characteristic test and transient temperature characteristic test of sensor part

5.8.1.4 Test method

The test temperature shall be at any one point between 15 °C and 35 °C, the upper limit and lower limit of the operating temperature.

When adding the test temperature or determining temperature change rate, it is desirable to have consultation between a manufacturer and a user for negotiation. A temperature change rate of 1 °C/min or less is desirable. The temperature shall be kept constant for longer than the thermal time constant of the test object before performing the measurements. Figure 12 shows an example of temperature profile.



IEC

Key

- T_c any point between 15 °C and 35 °C
- T_{max} upper limit of operating temperature range
- T_{min} lower limit of operating temperature range

Figure 12 – Example of temperature profile

5.8.1.5 Evaluation

Evaluation of the steady state temperature characteristic is performed by measuring the error and the phase difference of the optical current sensor output in the operating temperature range, and comparing the result with the required specifications.

5.8.2 Transient temperature characteristic test

5.8.2.1 General

Under circumstances where the ambient temperature of the sensor part changes, the temperature distribution of the parts constituting the sensor part becomes non-uniform. As a result, the polarized light is influenced by photoelasticity, etc. that leads to the alternation of optical current sensor output, and measurement errors can occur. In addition, when supplementing the temperature characteristics of the optical element and the electronic circuit by setting a temperature sensor for adjustment, there is a concern that a difference occurs between the temperature measurement point and the optical element/electronic circuit, as the latter part is actually affected by the temperature. In the case where the optical current sensor is used in an environment where the temperature changes, it is insufficient to only test the temperature characteristic with a uniform temperature distribution. Rather, dynamic temperature characteristics shall be tested.

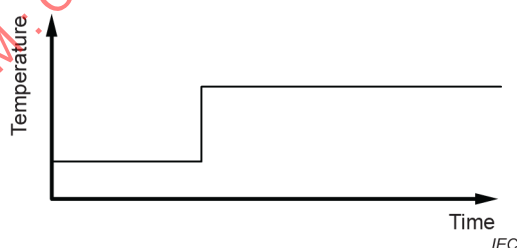
5.8.2.2 Parts to be tested

In the case where the environmental temperature of the signal processing part, the light transmission part and the sensor part changes too much to be ignored, these transient temperature characteristics shall be separately measured.

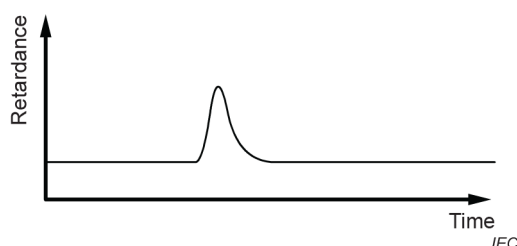
a) Sensor part

The sensor part that is interlinked with the energizing coil is placed in the temperature chamber. Then, the rate of temperature change that corresponds to the actual use environment is controlled, and the change in the optical current sensor output is measured.

When temperature changes in the sensor portion, as shown in Figure 13 a), the birefringence β can sharply increase, as shown in Figure 13 b), and the measurement error can become higher than in the case of steady state of birefringence.



a) Temperature change



b) Birefringence change

Figure 13 – 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 against environmental temperature change.

5.8.2.3 Test configuration

Figure 11 shows a configuration example of the steady state temperature characteristic test and the transient temperature characteristic test of the sensor part. Requirements for test equipment and conditions are as follows.

a) Temperature chamber

The temperature chamber has an inner dimension that can house the test object in an installed state. In particular, when a steep temperature change is required, it should use a two-bath type thermal shock test apparatus, but a single-tank type thermal shock test apparatus may be acceptable if a sufficient temperature change is 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 current

The sensor part and the optical transmission part are operated at the rated current. The signal processing part is operated at the rated current and zero current. If the rated current cannot be supplied to the conductor due to test constraints, a magnetic field equivalent to the rated current is equivalently applied to the test object using an energizing coil, or a current sufficiently larger than the equivalent noise input is passed to the energizing coil. Single frequency applies, which is determined within the test frequency band specified in the specifications. The test current value, the number of energized coil turns, and test frequency shall be specified in the test report.

c) Current source

It is desirable to use a constant current power supply.

5.8.2.4 Test method

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

The temperature change rate shall be higher than that assumed under the actual condition.

The test temperature shall be the following four points. Additional test temperature, if any, shall be determined with negotiation between a manufacturer and a user.

- a) From any one point between 15 °C and 35 °C, to the upper limit of the operating temperature range.
- b) From any one point between 15 °C and 35 °C, to the lower limit of the operating temperature range.
- c) From the upper limit of the operating temperature range, to any one point between 15 °C and 35 °C.
- d) From the lower limit of the operating temperature range, to any point between 15 °C and 35 °C.

The test temperature shall be maintained at a certain level during a certain period to keep a stable temperature at the temperature chamber before and after the temperature change. The output of the optical current sensor is continuously measured from a time when the temperature of the test object completely becomes stable before the temperature change, to a time when the temperature of the test object completely becomes stable after the temperature change. Figure 14 shows an example of temperature programme.

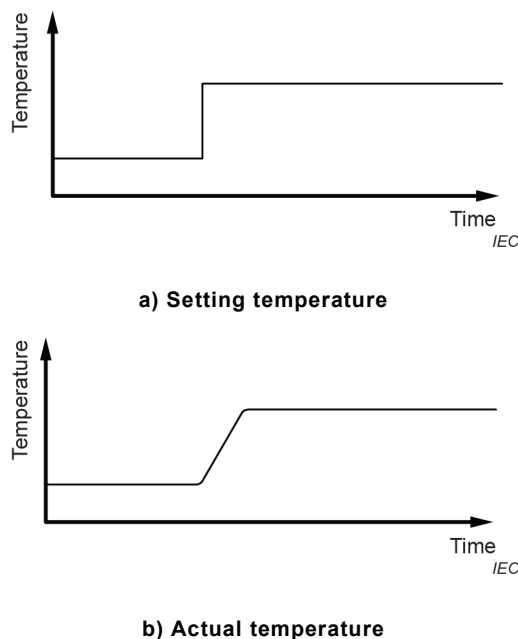


Figure 14 – Example of temperature programme

5.8.2.5 Evaluation

Evaluation shall be made by measuring the error and phase difference of the output value of the optical current sensor at the temperature change in the operating temperature range, and comparing the result with the required specifications.

5.8.3 External magnetic field test

5.8.3.1 Purpose

Since the optical current sensor measures the current through the magnetic field generated by the current to be measured passing through the conductor, the influence of the external magnetic field should be considered. Especially when the closed loop of the Faraday element is incomplete and when the birefringence of the sensor optical fibre is not uniform, an error due to the influence of the external magnetic field occurs. The most common cause of the external magnetic field is a nearby energizing conductor. Particularly, the closer the energizing conductor is placed at the boundary between the Faraday element of the sensor part and the optical transmission part, the more errors are seen. For this reason, a test shall be conducted to find the influence of the external magnetic field by passing the current to the outside of the closed loop under the condition that no current to be measured flows.

The theory for estimating the influence of the external magnetic field of the optical current sensor is described in Annex D.

5.8.3.2 Test method

Figure 15 shows the position of the outer conductor in the external magnetic field test in the case where the Faraday element is an optical fibre. For recording the position of the conductor during the test, the optical current sensor displays the reference point of the angle measurement. An external conductor is placed outside of the closed loop of the sensor optical fibre, and the optical current sensor output is measured. The following measurement values shall be written in the test report:

- the distance (r) between the centre (x) of the closed loop and the outer conductor;
- the angle (θ) between the straight line connecting the centre of the closed loop to the rotation reference mark and the outer conductor position;
- the current value passing through the outer conductor.

θ is measured at four points in every 90° .

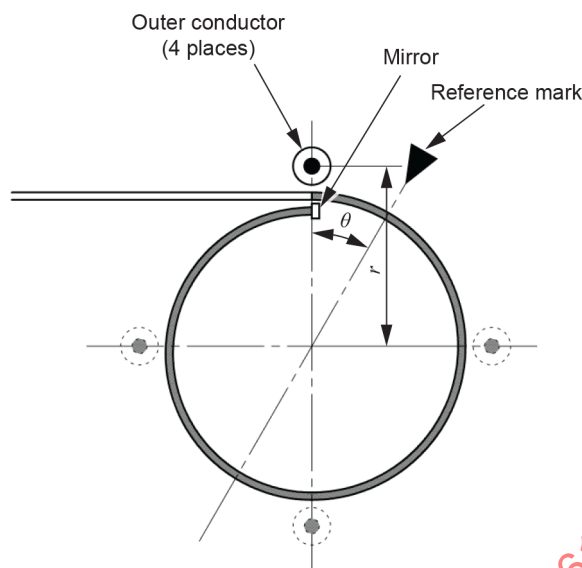


Figure 15 – Position of the outer conductor in the external magnetic field test when the Faraday element is an optical fibre

5.8.3.3 Evaluation

The influence of the external magnetic field of the optical current sensor shall be evaluated by measuring the optical current sensor output without passing the current to be measured, and comparing the result with the required specifications.

5.8.4 Conductor position test

5.8.4.1 Purpose

The conductor position test is conducted since the current output of the optical current sensor can depend on a relative position of the optical current sensor against a conductor.

5.8.4.2 Test method

Unless otherwise specified, the basic position of the conductor is the centre of the closed loop of current detection optical fibre. Depending on the application, the effect in the case that the conductor is not positioned at the centre of the closed loop should also be tested, if required. Figure 16 shows the position of the conductor in the conductor position test in the case where the Faraday element is an optical fibre. For recording the position of the conductor during the test, the optical current sensor displays the reference point of the angle measurement. The conductor is placed inside of the closed loop of the sensor optical fibre. The following measurement values shall be written in the test report:

- the distance (r) from the centre (X) of the closed loop to the conductor;
- the angle (θ) between the line connecting the rotation reference mark to the centre of the closed loop, and the conductor position;
- the current value passing through the conductor.

θ is measured at four points in every 90° .

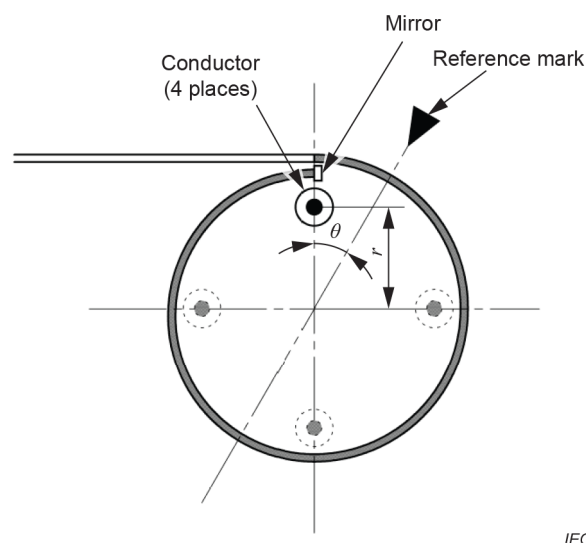


Figure 16 – Position of the conductor in the conductor position test when the Faraday element is an optical fibre

5.8.4.3 Evaluation

The influence of the conductor position shall be evaluated by measuring the optical current sensor output against the current to be measured, and comparing the result with the required specifications.

5.8.5 Vibration test

5.8.5.1 Purpose

The vibration test should be conducted, because vibration occurs on an optical current sensor.

5.8.5.2 Test method

The test is performed by measuring a change in output of the optical current sensor when vibration is applied to the sensor part, the optical transmission part, and the signal processing part. The vibration test conditions are set considering the actual use environment. The current to be measured is the rated current and zero current.

The vibration applying method for each part should be as follows.

- a) Sensor part
 - Impact test
 - Shakers test
- b) Optical transmission part
 - Impact test
- c) Signal processing part
 - Impact test
 - Shakers test

5.8.5.3 Evaluation

The vibration test is evaluated by measuring the error of the optical current sensor output at the time when the vibration is applied and comparing the result with the required specifications.

Annex A (informative)

Principle of optical current sensor

A.1 Outline

Annex A describes the Faraday effect, which is the principle of current detection, and how current is detected using the Faraday effect.

A.2 Faraday effect

When light passes through a transparent nonmagnetic medium (diamagnetic or paramagnetic) placed in a magnetic field, the plane of polarization rotates. This effect is called the Faraday effect, which is the basic principle of optical current sensor detection using the polarimetric method (see Figure A.1). The rotation angle (Faraday rotation angle) θ_F of the polarization plane is expressed by Equation (A.1).

$$\theta_F = VHL \quad (\text{A.1})$$

where

θ_F is the Faraday rotation angle (degrees);

H is the intensity of magnetic field (component of the light travelling direction) (A/m);

L is the length of the Faraday element (m);

V is the Verdet constant (degrees/A, depending on the type of medium and light wavelength).

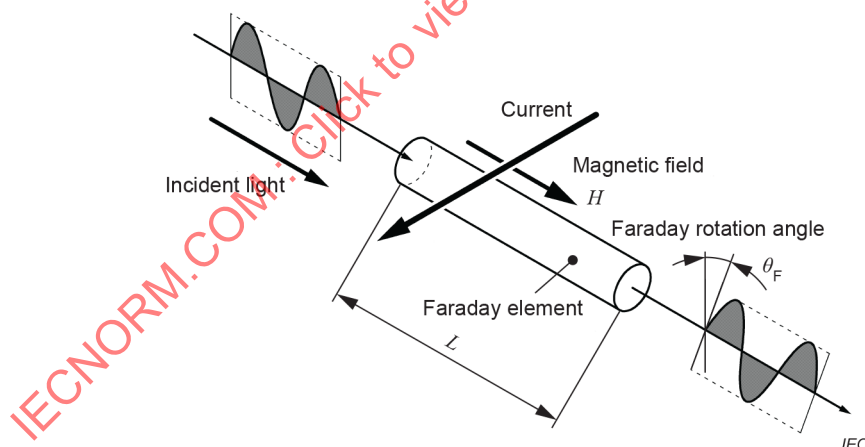


Figure A.1 – Faraday effect

Equation (A.1) shows that the Faraday rotation angle is proportional to the strength of the magnetic field applied to the transparent medium. In this regard, the plane of polarization rotates due to the difference in refractive index (circular birefringence) for right-handed circularly polarized light and left-handed circularly polarized light. Therefore, if this medium is used as a Faraday element and the Faraday rotation angle is measured by using a certain method, the magnitude of the current can be obtained, which is a source of generating the magnetic field. The types of Faraday elements to be used are described in A.3.

Here, it is assumed that the medium is of a size that allows a light beam to pass through. Such an element is called a "bulk type element".

A.3 Types of Faraday element

Faraday elements are categorized into the following three types in Figure 3.

a) Optical fibre type element

When a magnetic field is applied to the optical fibre, the polarized light in the mode propagating through the fibre rotates according to the application of the magnetic field. Therefore, an optical fibre can be used as a Faraday element. In this case, however, it is necessary to use a single mode optical fibre as the Faraday element. This is because, in a multimode optical fibre capable of propagating in plural modes, the polarization state changes as it travels through the optical fibre due to the mode dispersion. Although the optical fibre has many other demands as a Faraday element, it is one of the basic requirements to satisfy the single mode condition.

b) Nonmagnetic bulk type element

This is a bulk type element consisting of a transparent nonmagnetic medium (diamagnetic or paramagnetic), as described in Clause A.2.

c) Ferromagnetic crystal element

An yttrium iron garnet (YIG) ferromagnetic crystal can also be used as a Faraday element. However, the Faraday effect received by the polarized light that passes through the ferromagnetic material is a phenomenon caused by the change in the pattern of the magnetic domain having a fixed optical rotation as the magnetic field is applied, and in the cross-sectional area of the magnetic domain. Therefore, when using a Faraday effect of a ferromagnetic crystal, it is necessary to bear in mind that the phenomenon appearing in this case is different from the Faraday effect described in Clause A.2.

A.4 Conversion of the Faraday effect into an electric signal

A.4.1 Detection of the Faraday effect of nonmagnetic material

The Faraday effect of a nonmagnetic material can be described as a nonreciprocal phenomenon in which a polarization plane travelling through a medium rotates by a magnetic field or a nonreciprocal birefringence phenomenon (circular birefringence) between two circularly polarized components.

Therefore, by separating the light subjected to the Faraday effect into two circularly polarized light components and making them interfere with each other, it is possible to convert the Faraday effect into a light intensity change. One of the methods to interfere with the reference polarization component is by introducing the light to the polarization separation prism (intensity modulation scheme).

Another method is to convert two circularly polarized light components to the same polarization state, thereby interfering with each other (interference scheme).

A.4.2 Detection of the Faraday effect of ferromagnetic material

As described in Clause A.3, the Faraday effect experienced by polarized light passing through a ferromagnetic material is a phenomenon caused by the change in the pattern of the magnetic domain due to the application of the magnetic field to the Faraday element, leading to the change in the sectional area of the magnetic domain. Therefore, in the case of using a ferromagnetic element, a method of converting the Faraday effect to the light intensity is different depending on whether the element is single crystal or polycrystal. Also, the relationship between the applied magnetic field and the light intensity is different from that in the case of the Faraday element made of a nonmagnetic material. It is also necessary to consider phenomena specific to the ferromagnetic material, such as easy axis of magnetization and the demagnetizing field effect.

A.5 Current detection method

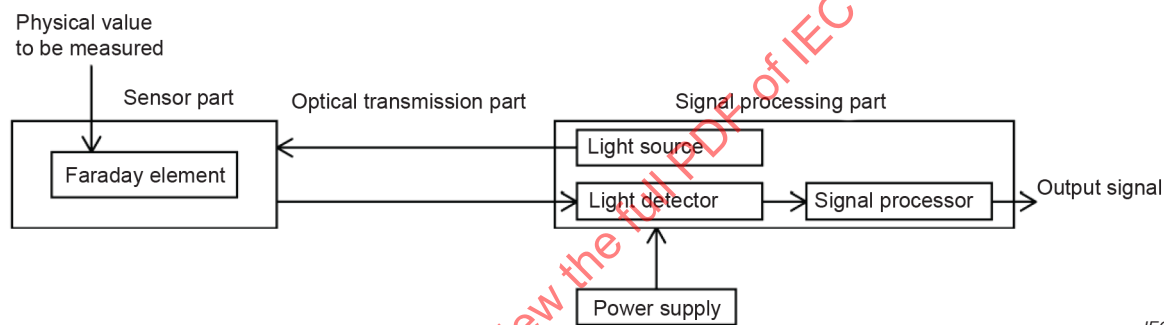
A.5.1 General

The basic method of detecting the current by applying the principle described in Clause A.4 is as follows.

A system is assembled that consists of three parts:

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

Figure A.2 shows the configuration of the method to detect current using the Faraday effect. In the system, the light guided to the light detector has information corresponding to the Faraday effect. The received light is converted into an electric signal proportional to the intensity of the light, and then converted into an output corresponding to the Faraday rotation angle after receiving signal processing.



IEC

Figure A.2 – Configuration of current detection method using Faraday effect

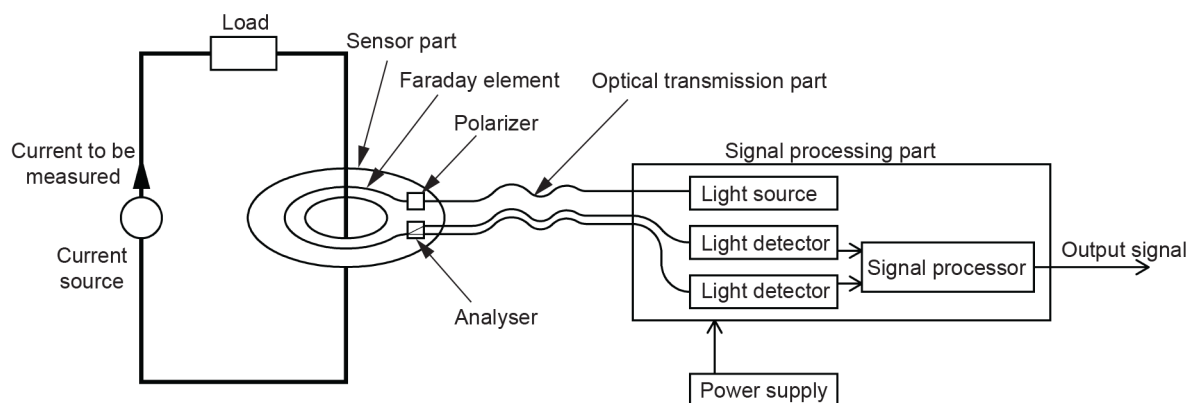
A.5.2 Examples of current detection method

A.5.2.1 General

As many cases exist in the development and application of the method (configuration and operation) of the optical current sensor, it is difficult to make a classification that can exhaustively cover all the technical elements. Subclauses A.5.2.2 and A.5.2.3 describe the intensity modulation scheme and the interference scheme using an optical fibre as a Faraday element, and the outline will be explained.

A.5.2.2 Intensity modulation scheme

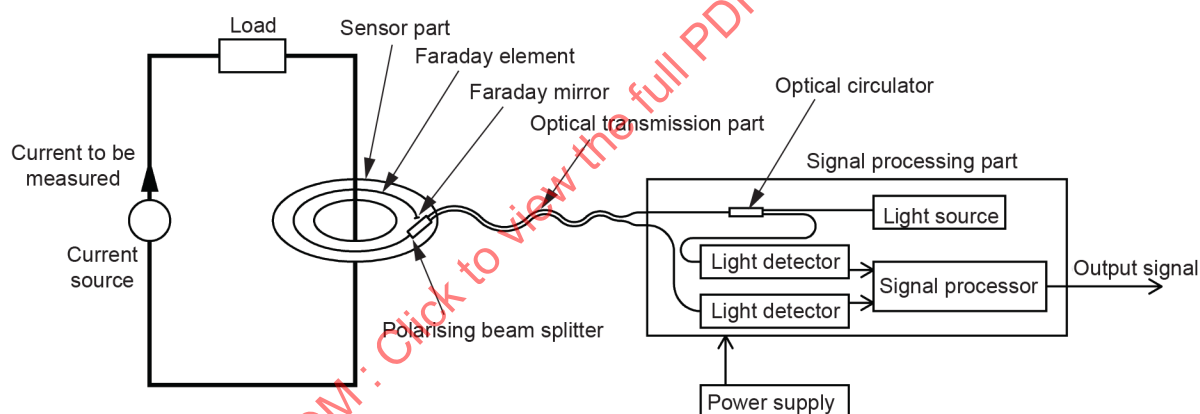
Figure A.3 shows the basic configuration for detecting current by the intensity modulation method using an optical fibre as a Faraday element. Light is transmitted from the light source to the sensor part by the optical transmission fibre, converted to linearly polarized light by the polarizer, and then launched into the Faraday element. In the Faraday element, the Faraday effect occurs due to the magnetic field generated around the current passing through the conductor. The light that has passed through the Faraday element enters the analyser in the sensor part and is separated into two beams of which the polarization azimuths are orthogonal. In this way, the intensity of the two light beams passing through the analyser change in accordance with the rotation of the polarization plane. In order to ensure the linearity between the optical current sensor output and the current to be measured, a difference of 45° (optical bias) is usually maintained at the main axis orientation of the polarizer and the analyser. The light passing through the analyser is sent to two optical fibres in the optical transmission part and is converted into an electric signal proportional to the receiving light intensity by the light detector. A value proportional to the current to be measured is output from the signal processor.



IEC

Figure A.3 – Basic configuration of intensity modulation type optical current sensor

A more specific example is shown in Figure A.4, in which a mirror is attached to one end of a Faraday element so that the light reciprocates in the sensor optical fibre. Light is guided from the light source located in the signal processing part to the sensor optical fibre via one of the optical fibres in the optical transmission part and the sensor part. The light is reflected on the Faraday mirror at the end of the Faraday element and returns to the polarizing beam splitter. Due to the bias mechanism of the Faraday mirror, the light is separated in intensity according to the Faraday rotation angle, and returned to the signal processing part through the two optical fibres in the optical transmission part.



IEC

Figure A.4 – Configuration example of intensity modulation type reflective optical current sensor

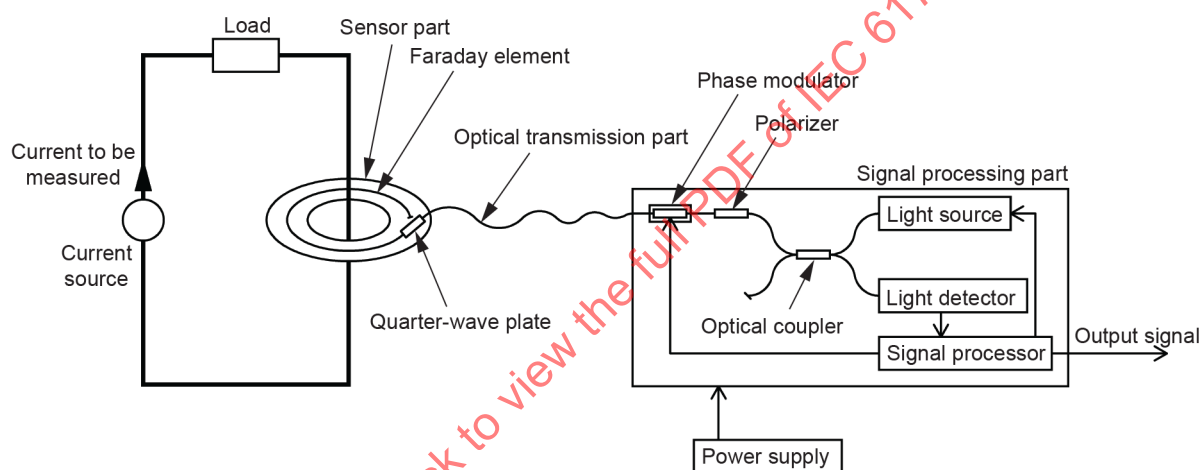
A.5.2.3 Interference scheme

Figure A.5 shows an example of a configuration in which an optical fibre is used as a Faraday element, and the current is detected by the interference scheme.

Light emitted from the light source is guided to a coupler by a single mode optical fibre and split into two, one of which is launched into the polarizer. The light that has passed through the polarizer is launched into the optical transmission part, and after passing through the phase modulator, is guided to the quarter-wave plate. The optical transmission part consists of a polarization-maintaining fibre, and the main axis orientation is inclined by 45° against the main axis of the polarizer. Therefore, the incident light to the fibre has two linear polarization modes in which the azimuths are orthogonal. By passing through the phase modulator, phase modulation of angular frequency ω_m is performed between both modes. Next, both polarization modes that pass through the quarter-wave plate are transformed to circularly polarized light components of mutually reversed rotation and are launched into the sensor part. In the optical fibre in the sensor part, the light is reflected on the mirror and returns to the quarter-wave plate. During this process, the light undergoes a Faraday effect due to the magnetic field created by the current, and a phase difference proportional to the current occurs between the two circular polarization modes.

Afterward, the light again passes through the quarter-wave plate, and again enters the polarization-maintaining fibre, and becomes the intrinsic polarization mode of the polarization-maintaining fibre. At that point, each polarization mode is exchanged with the mode before being launched into the optical fibre in the sensing part. The light passing through the polarization-maintaining fibre undergoes additional phase modulation, then enters the polarizer, and the two polarized light components interfere with each other. With this configuration, the phase difference of the polarization component due to the Faraday effect generated in the sensor optical fibre is converted into the light intensity. The light passing through the polarizer is guided by a coupler into two beams, one of which is guided to a light detector and converted into an electric signal.

In order to ensure the linearity and stability of the output, signal processing combined with the phase modulator is performed. A method, for example, is applied in which the output of the light detector is passed through band pass filters having a centre angular frequency ω_m and band pass filters of $2\omega_m$ so as to obtain the ratio of the levels of both. In the series of these operations, since the two polarization modes are switched during the reciprocation of the polarization-maintaining fibre, the phase difference to the polarization-maintaining fibre that is caused by the disturbance due to the environment is compensated.



IEC

Figure A.5 – Configuration example of interference type optical current sensor

Annex B (informative)

Features of optical current sensor technology

Annex B summarizes the features expected for the optical current sensor technology that is derived from the principle described in Annex A. Assuming a case where a current detection device is applied to a power facility, characteristics of a detection device are compared to those of a current transformer and a Rogowski coil, etc. Issues and challenges associated with the optical current sensor technology will not be discussed here. A list of the features expected in the technology is shown below.

a) Compact and lightweight

Since the Faraday element and the signal transmission path are made of an electrical insulator such as an optical fibre, it is easy to ensure insulation when attaching to the charging part. Also, heavy objects such as iron cores are not required. Therefore, the entire apparatus including the mounting structure can be compact and lightweight.

b) Electromagnetic noise resistance

Since optical fibre detects and transmits signal, no electromagnetic induction noise invades 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. 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 phenomena 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

Current can be detected by interlinking a flexible current detection optical fibre with a conductor. In addition, it is possible to prevent performance from being affected by deformation of the optical fibre coil. A donut-like structure like a current transformer is not required.

e) Safety

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

f) External magnetic field resistance

By making a sensor fibre that interlinks with the current a closed loop, a system using the technology receives less influence from the external magnetic field (for example, the magnetic field due to the current of the adjacent conductor in the three-phase AC line).

g) Large current detection

There is no characteristics deterioration due to the magnetic saturation of the iron core that is typical in the current transformer. Therefore, a system using the technology is suitable for detecting large current, including DC, that can flow at the time of accident in power systems.

h) DC detection

Since the Faraday effect responds to the DC magnetic field, it is easy to detect the DC.

i) Detection of high-speed phenomena

A system using this technology can detect current using the Faraday effect and transmit signal via an optical fibre, which enables detection of high-speed phenomena and performs signal transmission.

j) Small impact on detection target

Since there is less influence on the current to be detected due to the installation of the device, the current flowing can be accurately detected in the circuit with a low 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 current sensor.

C.2 Performance restricting factors

The objective of this document is to show a test method of the target detection device to discover how much the constraints listed below 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 current sensor.

a) Sensor part

1) Constraints imposed by measurement principle:

- constraints on the sensitivity of Faraday rotation depending on Verdet constant and the number of interlinks between the current and the optical path;
- constraint on the maximum detectable current received from the maximum readable angle of Faraday rotation angle;
- effect of external magnetic field;
- restriction on the response speed depending on the time that light takes to pass through the Faraday element;
- characteristic of ferromagnetic crystal element.

2) Changes in characteristics depending on environmental conditions:

- temperature dependence of Verdet constant of Faraday element;
- temperature dependence of sensitivity due to photoelastic effect of the Faraday element;
- temperature dependence of optical rotation angle of a Faraday element with optical rotation;
- rotation of polarization by deformation of Faraday element optical fibre;
- variation in polarization and transmission light intensity caused by vibration transmitted to the Faraday element and the optical element;
- temperature dependence of alignment of optical elements.

3) Durability and life span:

- water resistance;
- high temperature resistance/low temperature property;
- UV resistance;
- surrounding medium resistance;
- vibration resistance;
- voltage resistance;
- aging of optical element alignment.

b) Signal transmission fibre

1) Constraints imposed by measurement principle:

- 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 signal transmission fibre.

3) Durability and life span:

- water resistance;
- high temperature resistance/low temperature property;
- UV resistance;
- gas resistance;
- vibration resistance;
- voltage resistance;
- aging of optical element alignment.

c) Electronic circuit

1) Constraints imposed by measurement principle:

- variation of Verdet constant due to change in wavelength of light source;
- limitation of detection sensitivity due to a noise occurring in an electronic circuit;
- restriction of response speed depending on the band of electronic circuit;
- restriction on the magnitude of maximum current to be measured due to nonlinearity of the entire system;
- conformity to the digital output transmission standard;
- restriction on the burden 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

- 1) Restrictions on dimension or weight.
- 2) Restrictions on handling that makes the installation method complicated.
- 3) Cost does not meet target.

C.3 Procedure for determining the specifications of the equipment

Clause C.3 summarizes the procedure for determining the specifications of the "detection device" that is delivered from the supply side of optical current 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 current sensor:

- sensor part;

- signal processing part;
- light transmission part.

b) Basic design

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

- method adopted by the device (see Clause A.5);
- applicable conditions.

c) Scope and performance of delivered device

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

- scope of devices to be delivered;
- 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 and testing

Based on the design, the device is "manufactured".

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 device are compiled.

Annex D (informative)

Optical current sensor output in the application of other phase magnetic fields

D.1 Ampere's circulation integral law

As shown in Figure D.1, when taking the closed curve C in the magnetic field generated by the current and taking the line integral of the magnetic field strength (component in the tangential direction) along this closed curve, the result is equal to the total interlinking current. This is the law of Ampere's circulation integral (see Equation (D.1)).

$$\oint_C H dl = \sum i = I \quad (D.1)$$

where

H is the magnetic field strength;

dl is the line element vector;

i is the current intersecting microscopic length;

I is the total current to interlink.

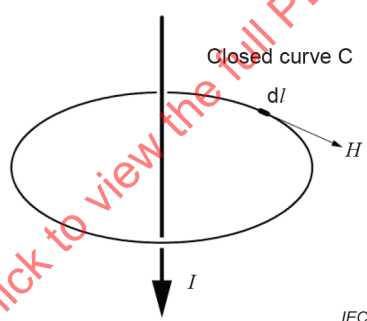


Figure D.1 – The law of Ampere's circulation integral

D.2 Influence of other phase magnetic fields

On the other hand, if the current flows to the outside of the closed curve C, the line integral of the strength of the magnetic field along this closed curve, it becomes zero. Therefore, in the case when the closed curve is replaced by the closed loop of the current detection optical fibre, if the closed loop is complete, no current is detected, even if a current is flowing to the outside and is not affected by the external magnetic field. On the contrary, if the closed loop is incomplete, the line integral of the strength of the magnetic field along the closed loop does not become zero and is affected by the external magnetic field. Figure D.2 shows two examples of an incomplete closed loop of the current detection optical fibre.

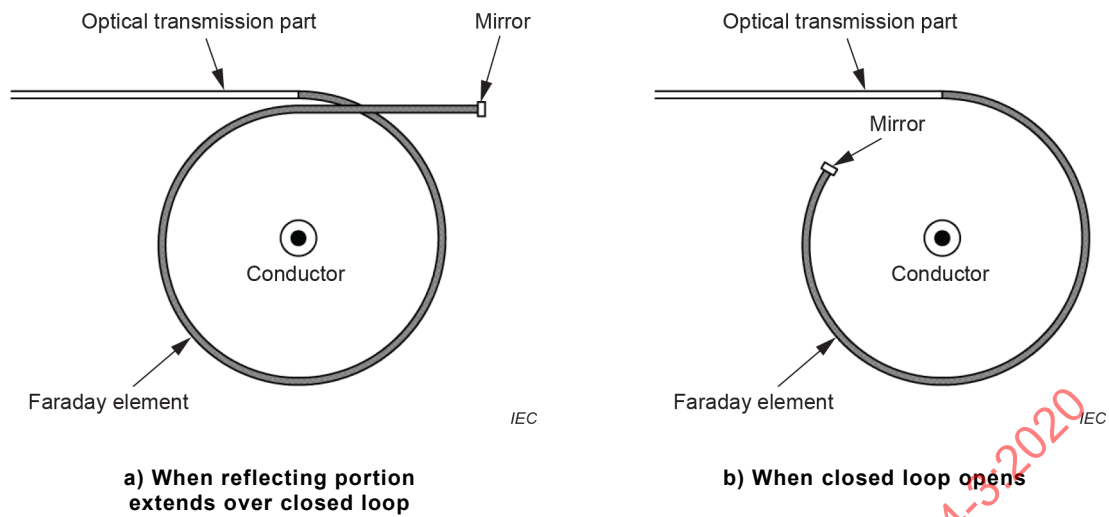


Figure D.2 – Image diagram of incomplete closed loop

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61757-4-3:2020

Annex E (informative)

Measurement parameter performance table

E.1 General

For better comparability, Tables E.1 through E.6 and Figures E.1 through E.9 should be used to record the measured parameter values. Similar tables may be used to provide a set of quoted specifications for the same measurement parameters.

E.2 Output power of light source

Table E.1 – Output power of light source

Parameter	Value	Unit	Test conditions
Output power	XX,X	mW (or A, V)	$T = 25\text{ °C}$
Output power stability	$\pm XX,X$	%	1 h, $T = 25\text{ °C}$

E.3 Input power of light detector

Table E.2 – Input power of light detector

Temperature: _____

Parameter	Value	Unit
X Ch.	XX,X	mW (or V)
Y Ch.	XX,X	mW (or V)

E.4 I/O characteristics

Table E.3 – I/O characteristics

Temperature: _____

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

E.5 Frequency characteristics

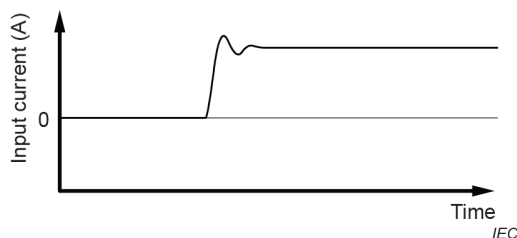
Table E.4 – Frequency characteristics

Temperature: _____

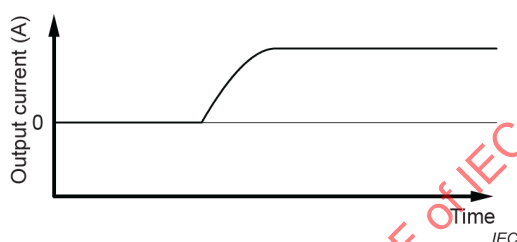
Input current: Rated current			
Frequency Hz	Output current A	Error %	Notes
0,1	XX,X	XX,X	Minimum measurable frequency
1	XX,X	XX,X	
10	XX,X	XX,X	
100	XX,X	XX,X	
1 000	XX,X	XX,X	
10 000	XX,X	XX,X	
...	XX,X	XX,X	
1 000 000	XX,X	XX,X	Maximum measurable frequency
Input current: Maximum measurable current			
Frequency Hz	Output current A	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	
1 000	XX,X	XX,X	
10 000	XX,X	XX,X	
...	XX,X	XX,X	
1 000 000	XX,X	XX,X	Maximum measurable frequency

E.6 Transient characteristics

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



a) Input current



b) Optical current sensor output

Figure E.1 – Example of the transient characteristic

E.7 Steady state temperature characteristics

Input current: 0

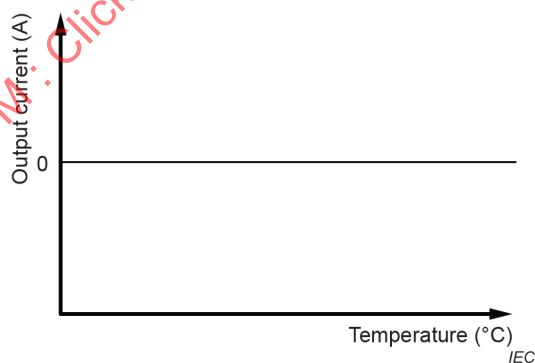


Figure E.2 – Example of the temperature characteristics at current 0

Input current: rated current

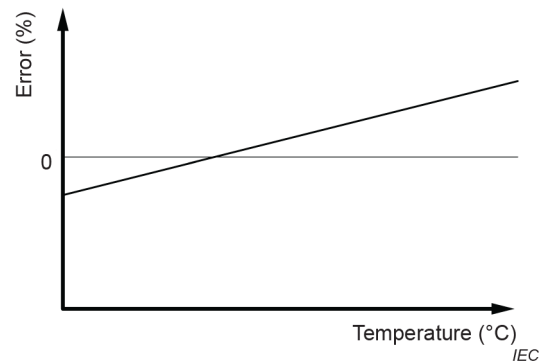
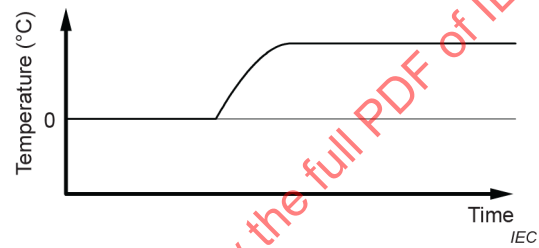


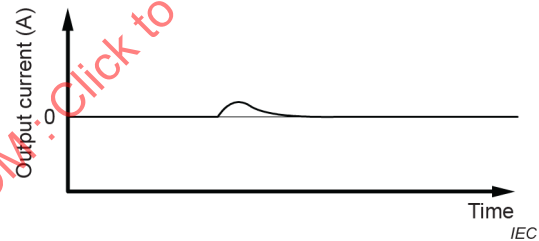
Figure E.3 – Example of the temperature characteristics at rated current

E.8 Transient temperature characteristics

Input current: 0



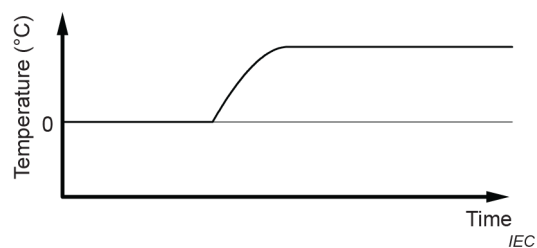
a) Temperature change



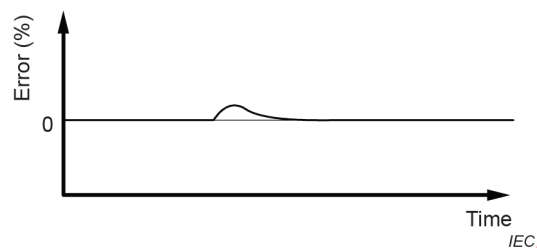
b) Optical current sensor output

Figure E.4 – Example of the transient temperature characteristics at input current 0

Input current: rated current



a) Temperature change



b) Error

Figure E.5 – Example of the transient temperature characteristics at rated current

E.9 External magnetic field

Table E.5 – External magnetic field

Input current: 0

Temperature: _____

Distance, r mm	Angle, θ degrees	Output current A	Notes
XX,X	0	XX,X	
XX,X	90	XX,X	
XX,X	180	XX,X	
XX,X	270	XX,X	

E.10 Conductor positions

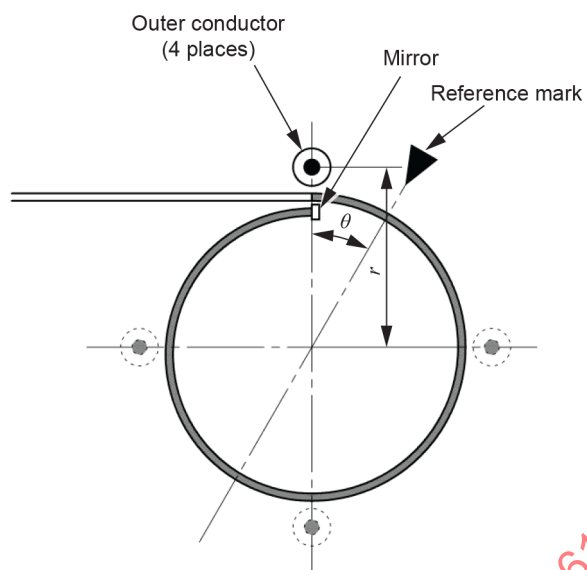


Figure E.6 – Positions of the outer conductor

Table E.6 – Conductor position

Input current: rated current

Temperature: _____

Distance, r mm	Angle, θ degrees	Output current A	Notes
XX,X	0	XX,X	
XX,X	90	XX,X	
XX,X	180	XX,X	
XX,X	270	XX,X	

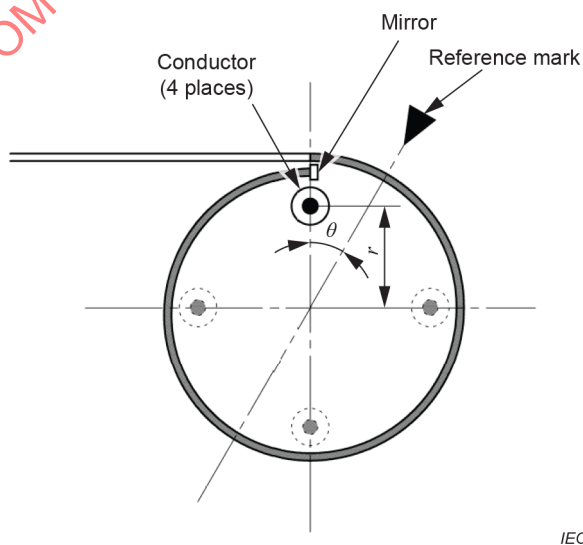
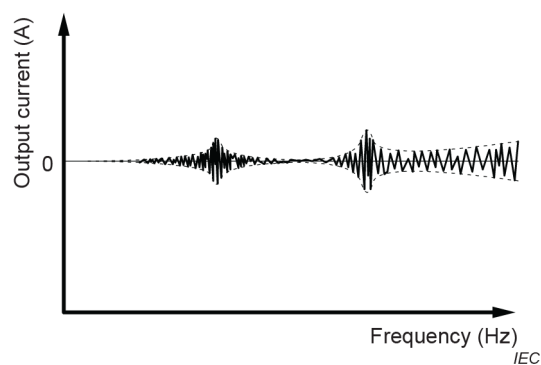


Figure E.7 – Positions of the conductor in the conductor positions test

E.11 Vibration

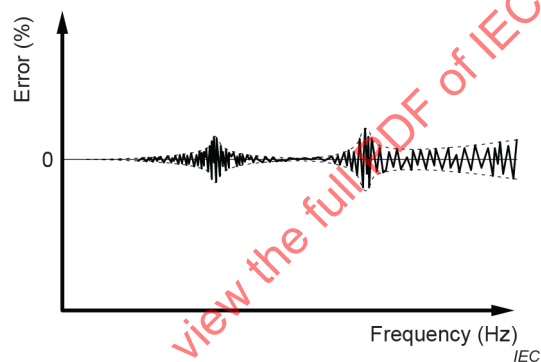


Input current: 0

Temperature: _____

Acceleration: _____

Figure E.8 – Example of the vibration test at current 0



Input current: rated current

Temperature: _____

Acceleration: _____

Figure E.9 – Example of the vibration test at rated current

Bibliography

K. Hotate and Y. Konishi, "Simulation of performance degradation of Fiber-Optic Current Sensor", IEICE Transactions on Electronics, vol. E83-C, No.3, p.326-330, 2000

K. Kurosawa, Y. Hiroki and K. Shirakawa, "Compact and Flexible Optical Fiber Current Sensors," Proceedings of 30th Meeting on Lightwave Sensing Technology, No.LST30-19, p.133-139, 2002

OITDA FS 01, *Fiber optic sensors – Polarimetric current measurement*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61757-4-3:2020

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61757-4-3:2020

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	53
INTRODUCTION.....	55
1 Domaine d'application	56
2 Références normatives	56
3 Termes et définitions	56
4 Composants d'un capteur de courant optique utilisant la méthode polarimétrique	58
4.1 Généralités	58
4.2 Classification des éléments Faraday	59
5 Essai de mesure des caractéristiques.....	60
5.1 Informations générales	60
5.2 Puissance de sortie de la source lumineuse.....	61
5.3 Puissance d'entrée du détecteur de lumière.....	61
5.4 Caractéristiques d'E/S	62
5.4.1 Généralités	62
5.4.2 Méthode d'essai	63
5.4.3 Procédure d'essai.....	65
5.4.4 Evaluation	66
5.5 Durée de préchauffage	67
5.5.1 Généralités	67
5.5.2 Méthode d'essai	67
5.5.3 Evaluation	67
5.6 Courants à appliquer pour obtenir chaque paramètre	68
5.7 Dépendance aux paramètres d'entrée.....	68
5.7.1 Caractéristique de fréquence.....	68
5.7.2 Caractéristique en régime transitoire	69
5.8 Dépendance à l'environnement extérieur	71
5.8.1 Essai de mesure des caractéristiques thermiques en régime établi.....	71
5.8.2 Essai de mesure des caractéristiques thermiques en régime transitoire.....	74
5.8.3 Essai de champ magnétique externe	76
5.8.4 Essai de position du conducteur	77
5.8.5 Essai de vibrations	78
Annexe A (informative) Principe du capteur de courant optique	80
A.1 Préambule	80
A.2 Effet Faraday	80
A.3 Types d'éléments Faraday	81
A.4 Conversion de l'effet Faraday en signal électrique	81
A.4.1 Détection de l'effet Faraday d'un matériau amagnétique.....	81
A.4.2 Détection de l'effet Faraday d'un matériau ferromagnétique	81
A.5 Méthode de détection du courant.....	82
A.5.1 Généralités	82
A.5.2 Exemples de méthode de détection du courant.....	82
Annexe B (informative) Caractéristiques de la technologie des capteurs de courant optiques.....	85
Annexe C (informative) Facteurs à considérer pour la conception	87
C.1 Informations générales	87
C.2 Facteurs limitatifs de performances.....	87

C.3	Procédure pour déterminer les spécifications du matériel.....	88
Annexe D (informative) Sortie du capteur de courant optique dans l'application de champs magnétiques à phase différente		
D.1	Loi de l'intégrale de circulation d'Ampère	90
D.2	Influence des champs magnétiques à phase différente	90
Annexe E (informative) Tableaux de paramètres de mesure de performance		
E.1	Généralités	92
E.2	Puissance de sortie de la source lumineuse.....	92
E.3	Puissance d'entrée du détecteur de lumière.....	92
E.4	Caractéristiques d'E/S	92
E.5	Caractéristiques de fréquence	93
E.6	Caractéristiques en régime transitoire.....	94
E.7	Caractéristiques thermiques en régime établi.....	94
E.8	Caractéristiques thermiques en régime transitoire.....	95
E.9	Champ magnétique externe	96
E.10	Positions du conducteur.....	97
E.11	Vibrations	98
Bibliographie.....		99
Figure 1	– Système de mesure utilisant un capteur de courant optique	58
Figure 2	– Construction d'un capteur de courant optique	59
Figure 3	– Classification des éléments Faraday	60
Figure 4	– Exemple d'un contrôleur de puissance optique.....	61
Figure 5	– Exemple de circuit amplificateur d'un détecteur de lumière	61
Figure 6	– Caractéristiques d'E/S d'un capteur de courant optique	62
Figure 7	– Système de mesure de la méthode de comparaison des formes d'onde	64
Figure 8	– Système de mesure de la méthode du pont à courant alternatif.....	64
Figure 9	– Caractéristiques en régime transitoire du système à courant alternatif	70
Figure 10	– Caractéristiques en régime transitoire du système à courant continu/alternatif.....	71
Figure 11	– Exemple de configuration d'un essai de mesure de caractéristiques thermiques en régimes établi et transitoire de la partie de détection	73
Figure 12	– Exemple de profil de température.....	73
Figure 13	– Variation de la biréfringence pendant une variation de température	74
Figure 14	– Exemple de programme de température.....	76
Figure 15	– Position du conducteur extérieur dans l'essai de champ magnétique externe, lorsque l'élément Faraday est une fibre optique	77
Figure 16	– Position du conducteur dans l'essai de position du conducteur, lorsque l'élément Faraday est une fibre optique	78
Figure A.1	– Effet Faraday	80
Figure A.2	– Configuration de la méthode de détection du courant par effet Faraday	82
Figure A.3	– Configuration de base du capteur de courant optique à modulation d'intensité	83
Figure A.4	– Exemple de configuration du capteur de courant optique réfléchissant à modulation d'intensité	83
Figure A.5	– Exemple de configuration du capteur de courant optique de type interférométrique	84

Figure D.1 – Loi de l'intégrale de circulation d'Ampère.....	90
Figure D.2 – Représentation schématique d'une boucle fermée incomplète	91
Figure E.1 – Exemple de caractéristique en régime transitoire	94
Figure E.2 – Exemple de caractéristiques thermiques à courant nul.....	94
Figure E.3 – Exemple de caractéristiques thermiques au courant assigné.....	95
Figure E.4 – Exemple de caractéristiques thermiques en régime transitoire à courant d'entrée nul.....	95
Figure E.5 – Exemple de caractéristiques thermiques en régime transitoire au courant assigné	96
Figure E.6 – Positions du conducteur extérieur	97
Figure E.7 – Positions du conducteur dans l'essai des positions du conducteur	97
Figure E.8 – Exemple de l'essai de vibrations à courant nul.....	98
Figure E.9 – Exemple de l'essai de vibrations au courant assigné.....	98
Tableau 1 – Liste des paramètres à déterminer	60
Tableau 2 – Méthode d'essai	63
Tableau 3 – Courants à appliquer pour obtenir chaque paramètre	68
Tableau E.1 – Puissance de sortie de la source lumineuse	92
Tableau E.2 – Puissance d'entrée du détecteur de lumière	92
Tableau E.3 – Caractéristiques d'E/S.....	92
Tableau E.4 – Caractéristiques de fréquence.....	93
Tableau E.5 – Champ magnétique externe.....	96
Tableau E.6 – Position du conducteur	97

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61757-4-3:2020

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CAPTEURS FIBRONIQUES –

**Partie 4-3: Mesure du courant électrique –
Méthode polarimétrique**

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale IEC 61757-4-3 a été établie par le sous-comité 86C: Systèmes et dispositifs actifs à fibres optiques, du comité d'études TC 86: Fibres optiques.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

CDV	Rapport de vote
86C/1578/CDV	86C/1611/RVC

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

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 61757, publiées sous le titre général *Capteurs fibroniques*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives au document recherché. A cette date, le document sera

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61757-4-3:2020

INTRODUCTION

Les techniques de mesure de courant sont essentielles pour contrôler et diagnostiquer les appareillages qui répondent aux besoins de l'industrie et de la société. Des capteurs de courant optiques basés sur l'effet magnéto-optique ont été développés en tant que dispositifs de mesure de courant. Ces capteurs permettant une mesure avancée du courant sans les problèmes liés aux traditionnels capteurs de courant basés sur l'induction électromagnétique, ils ont été utilisés dans différents domaines, y compris les systèmes d'alimentation.

Compte tenu des attentes sur le potentiel de cette technologie de détection, les fabricants ont proposé divers types de capteurs de courant optiques pour différentes applications. Dans ce contexte, il existe de nombreux types (courant ciblé pour la mesure, configuration de capteur, méthode de traitement du signal, méthode d'installation) de capteurs de courant optiques pour diverses applications. Lors de la mise au point d'un nouveau capteur de courant optique, une évaluation et une étude des performances et des caractéristiques sont réalisées dans chaque cas.

Pour favoriser la diffusion des capteurs de courant optiques, il est important de définir les termes représentant les performances et la fonctionnalité du capteur de courant optique qui est fabriqué sur la base de la technologie de détection. Il est tout aussi important de définir clairement la procédure à suivre pour évaluer ces termes. Ceci permet de concevoir le capteur de manière efficace et adaptée, tout en assurant un transfert en douceur du capteur d'un fournisseur à un utilisateur en résolvant ces problèmes. Dans ces conditions, le présent document résume un ensemble de méthodes destinées à évaluer les performances et les caractéristiques des capteurs de courant optiques. Comme les performances exigées d'un capteur dépendent de son application, elles ne sont pas définies quantitativement dans le présent document. En revanche, le présent document permet de définir les mesures quantitatives des performances lors de la conception du capteur lui-même, dans l'attente de son application pratique.

Le présent document est fondé sur la norme OITDA FS 01, publiée par l'association pour le développement de l'industrie et des technologies optoélectroniques (OITDA: Optoelectronics Industry and Technology Development Association).

CAPTEURS FIBRONIQUES –

Partie 4-3: Mesure du courant électrique – Méthode polarimétrique

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61757 définit la terminologie, la structure et une méthode d'essai de mesure de caractéristiques d'un capteur de courant optique utilisant la méthode polarimétrique. Elle traite uniquement de l'élément de détection de courant, et non des dispositifs supplémentaires qui sont propres à chaque application. Les spécifications génériques applicables aux capteurs fibroniques sont définies dans l'IEC 61757.

Comme les spécifications des capteurs de courant à fibres optiques polarimétriques exigées par chaque utilisateur varient en fonction de l'application, le présent document ne définit pas les valeurs de performance exigées. Les valeurs de performance exigées sont définies lors de la conception d'un capteur en fonction de l'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 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 <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

3.1

bobine conductrice de courant

bobine à air constituée de fils de sortie appliquant un courant électrique et utilisée pour appliquer, lors d'un essai de mesure de caractéristiques d'un capteur de courant optique, le champ magnétique constant produit par le courant à mesurer sur une fibre optique ou un élément de Faraday massif

3.2

champ magnétique externe

champ magnétique produit à partir de tout endroit autre que le conducteur parcouru par le courant à mesurer dans un capteur de courant optique

3.3

effet Faraday

biréfringence circulaire créée lorsqu'une substance est soumise à un champ magnétique externe

Note 1 à l'article: L'effet Faraday est un type d'effet magnéto-optique. Le terme générique «effet magnéto-optique» désigne l'effet d'un champ magnétique sur les caractéristiques optiques de particules ou d'un cristal. Il existe d'autres effets magnéto-optiques que l'effet Faraday, tels que l'effet Zeeman, la biréfringence magnétique, le dichroïsme circulaire magnétique, l'effet Kerr magnétique et la magnéto-absorption oscillatoire.

3.4

élément Faraday

élément optique permettant de détecter l'effet Faraday

3.5

miroir Faraday

miroir réfléchissant qui engendre une rotation de l'angle de polarisation par effet Faraday

3.6

méthode de modulation d'intensité

méthode consistant à convertir, dans un capteur de courant optique, la rotation d'un plan de polarisation en intensité lumineuse et à générer un signal optique qui correspond au courant à mesurer, en faisant d'abord passer la lumière à travers un élément de détection, puis à travers un élément de séparation par polarisation

3.7

méthode interférométrique

méthode consistant à générer un signal optique qui correspond au courant à mesurer par un capteur de courant optique, en convertissant la lumière polarisée circulairement à gauche et à droite qui a traversé l'élément Faraday à la même polarisation, puis en créant des interférences mutuelles afin de convertir la lumière polarisée en intensité lumineuse

3.8

courant maximal mesurable

valeur maximale mesurable du courant à mesurer par un capteur de courant optique

3.9

fréquence maximale mesurable

fréquence maximale mesurable du courant à mesurer par un capteur de courant optique

3.10

fréquence minimale mesurable

fréquence minimale mesurable du courant à mesurer par un capteur de courant optique

3.11

gamme des températures de fonctionnement

gamme définissant les limites de température dans lesquelles un capteur de courant optique satisfait aux performances définies

3.12

capteur de courant optique

partie, module, sous-ensemble, ensemble ou matériel qui mesure le courant électrique en utilisant la technologie de la fibronique

Note 1 à l'article: Les capteurs de courant optiques sont souvent utilisés avec des alimentations électriques, des interfaces utilisateurs et des écrans électromagnétiques, comme représenté à la Figure 1. La forme du signal de sortie est changée de manière à obtenir la forme exigée par l'interface de sortie, et un signal est transmis à un système d'application tel qu'un oscilloscope ou un système de contrôle. Un capteur de courant optique utilisant la méthode polarimétrique se compose de la partie de détection, de la partie de transmission optique et de la partie de traitement du signal (voir l'Article 4).

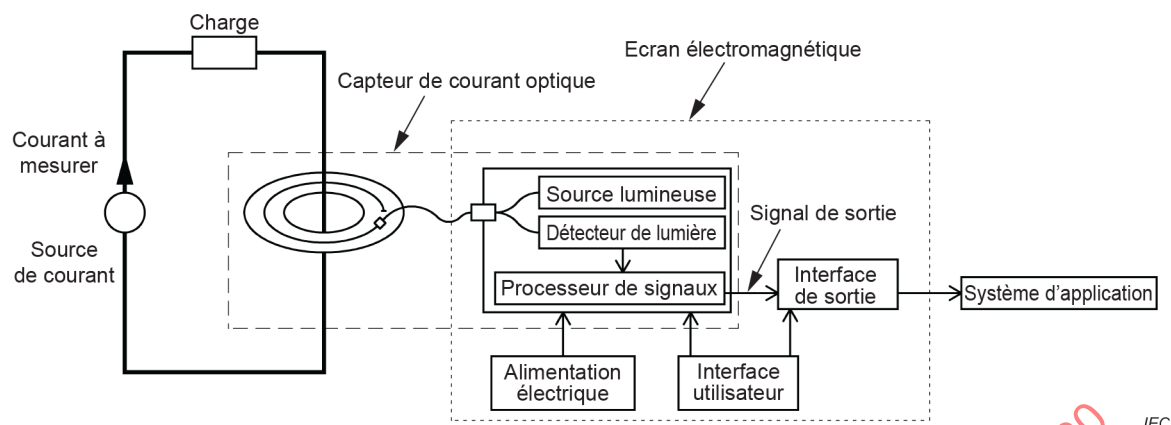


Figure 1 – Système de mesure utilisant un capteur de courant optique

3.13 partie optique

dans un capteur de courant 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 l'Article 4), alors que le terme «partie optique» se focalise sur les matériaux du composant.

3.14 conducteur extérieur

conducteur autre que le conducteur dans lequel circule le courant à mesurer dans un capteur de courant optique

3.15 courant assigné

valeur du courant à mesurer par un capteur de courant optique, qui sert de base pour démontrer les performances dans le cadre d'un essai réalisé dans des conditions définies

3.16 spécifications exigées

liste des spécifications auxquelles un capteur de courant optique satisfait

3.17 fibre optique filée

fibre optique fabriquée en faisant tourner une préforme à grande vitesse pendant le processus d'étirage

3.18 caractéristique en régime transitoire

phénomène engendrant une variation de la valeur du courant délivré à la sortie d'un capteur de courant optique lorsque le courant à mesurer fluctue par rapport à la valeur de courant définie sur une courte période

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

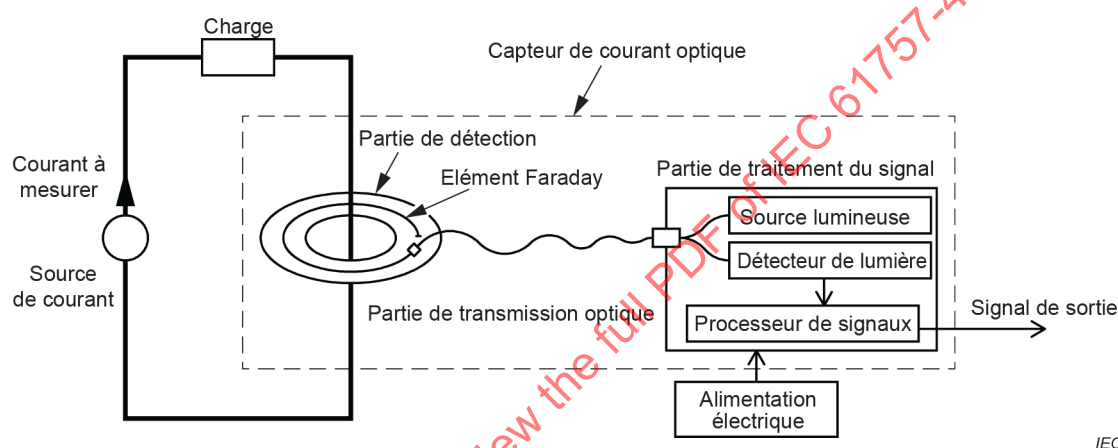
4.1 Généralités

La Figure 2 montre la construction d'un capteur de courant optique. Pour exposer chaque partie à un environnement différent, le présent document se concentre sur la position de chaque partie et divise le capteur en trois parties.

Dans le capteur de courant optique, une portion d'un élément Faraday adjacent au conducteur et affecté par l'effet Faraday est reliée à une portion incluant un circuit de traitement qui transmet, par fibre optique, une valeur de calcul de courant, et chaque portion est généralement exposée à un environnement différent. Dans ce cas, la portion dans laquelle l'élément Faraday est logé et exposé au même environnement est appelée «partie de détection», la portion contenant un circuit de traitement pour générer la valeur de calcul de courant est appelée «partie de traitement du signal», et la fibre optique qui relie les parties de détection et de traitement du signal est appelée «partie de transmission optique». Pour les fonctions spécifiques de chaque partie, voir l'Annexe A.

NOTE En plus des éléments Faraday, la partie de détection peut inclure des éléments permettant de contrôler simultanément la polarisation et la phase. En plus d'une source lumineuse, d'une alimentation électrique et d'un détecteur de lumière, la partie de traitement du signal peut comprendre des éléments permettant de contrôler simultanément la polarisation et la phase.

Pour les caractéristiques attendues d'un capteur de courant optique, voir l'Annexe B. Pour les aspects liés à la conception d'un capteur de courant optique, voir l'Annexe C.



IEC

Figure 2 – Construction d'un capteur de courant optique

4.2 Classification des éléments Faraday

La Figure 3 présente la classification des éléments Faraday. Dans un élément Faraday, la méthode de propagation de la lumière repose sur un élément à guide d'ondes dont la structure permet de guider la lumière en créant une différence d'indice de réfraction dans un capteur. Bien que les fibres optiques et les guides d'ondes plans soient des éléments à guide d'ondes, seule la fibre optique est actuellement utilisée dans la pratique.

Il existe également un élément massif qui guide la lumière dans un capteur à l'aide d'une lentille et d'un miroir, sans utiliser de différence d'indice de réfraction. L'élément constitué d'un matériau amagnétique et celui en matériau ferromagnétique se distinguent l'un de l'autre par le matériau utilisé.

Les capteurs massifs utilisent des fibres optiques pour la transmission des signaux, et les fibres optiques elles-mêmes ne sont pas des éléments Faraday.

Le présent document est applicable aux capteurs à élément de guide d'ondes et à élément massif qui utilisent la technologie des fibres optiques.

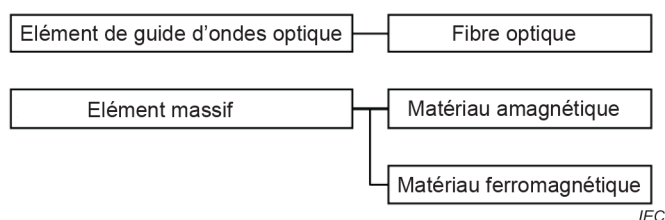


Figure 3 – Classification des éléments Faraday

5 Essai de mesure des caractéristiques

5.1 Informations générales

L'Article 5 spécifie une méthode d'essai de mesure des caractéristiques du capteur de courant optique. La puissance de sortie de la source lumineuse, décrite au 5.2, et la puissance d'entrée du détecteur de lumière, décrite au 5.3, doivent être déterminées au début d'un essai de mesure de caractéristiques afin de confirmer le fonctionnement normal de la source lumineuse et de la partie de transmission optique. Les caractéristiques d'entrée-sortie (E/S) décrites au 5.4 constituent la base de l'essai. Le Paragraphe 5.5 décrit la durée de préchauffage qui n'est souvent pas prise en compte dans les capteurs de courant classiques. Les Paragraphes 5.6 à 5.8 fournissent une définition de la dépendance aux paramètres qu'il est recommandé de soumettre à essai, ainsi que de la dépendance à l'environnement extérieur dans la méthode d'essai applicable pour chaque facteur. Le Paragraphe 5.6 décrit les courants à appliquer pour obtenir chaque paramètre. Le Tableau 1 dresse la liste des paramètres à déterminer. Il indique également si la détermination de chaque paramètre est une exigence (E) ou une option (O). Les résultats de mesure sont récapitulés dans le rapport d'inspection (voir l'Annexe E) et présentés à l'utilisateur.

Tableau 1 – Liste des paramètres à déterminer

N°	Paramètres			Exigence (E) ou option (O)
1	Puissance de sortie de la source lumineuse			E
2	Puissance d'entrée du détecteur de lumière			
3	Caractéristiques d'E/S			
4	Durée de préchauffage			
5	Dépendance aux paramètres	Dépendance aux paramètres d'entrée	Caractéristique de fréquence	E pour l'essai de type
			Caractéristique en régime transitoire	E pour l'essai de type
		Dépendance à l'environnement extérieur	Caractéristique thermique en régime établi	E pour l'essai de type O pour un essai individuel de série d'un capteur à usage extérieur
			Caractéristique thermique en régime transitoire	E pour l'essai de type O pour un essai individuel de série d'un capteur à usage extérieur
			Champ magnétique externe	O
			Position du conducteur	O
			Vibrations	O

5.2 Puissance de sortie de la source lumineuse

La puissance de sortie de la source lumineuse doit être mesurée dans le cadre d'un essai individuel de série, en utilisant l'une des méthodes suivantes:

- mesure de la puissance de sortie de la source lumineuse par un mesureur de puissance optique;
- mesure du signal de sortie du contrôleur de puissance optique.

La Figure 4 donne un exemple de contrôleur de puissance optique. La source lumineuse est souvent équipée d'une photodiode pour le contrôleur de puissance, qui peut être utilisée. Une amplification du signal de la photodiode permet d'obtenir une sortie du contrôleur de puissance optique.

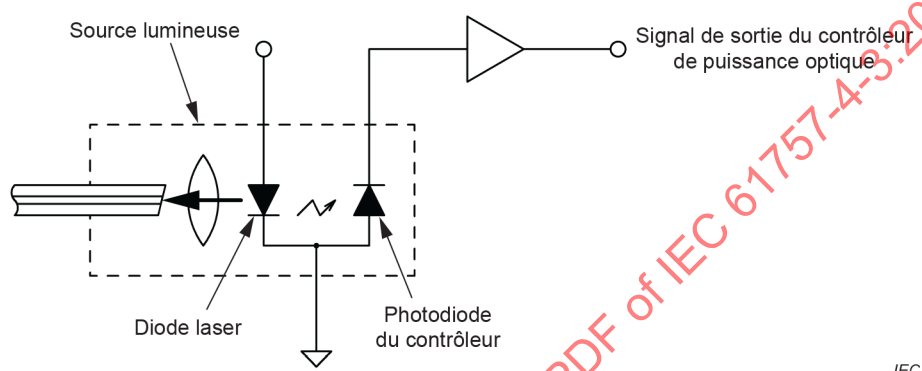


Figure 4 – Exemple d'un contrôleur de puissance optique

5.3 Puissance d'entrée du détecteur de lumière

La puissance d'entrée du détecteur de lumière doit être mesurée dans le cadre d'un essai individuel de série, en utilisant l'une des méthodes suivantes:

- mesure de la puissance d'entrée du détecteur de lumière par un mesureur de puissance optique;
- mesure du signal de sortie du détecteur de lumière.

A titre d'exemple, comme représenté à la Figure 5, la sortie du détecteur de lumière peut être amplifiée.

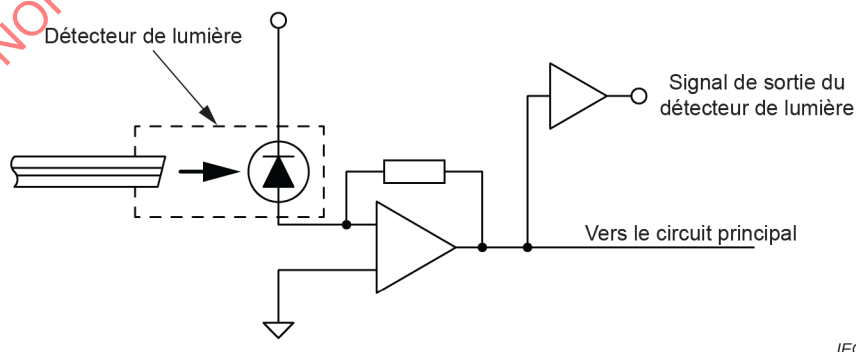


Figure 5 – Exemple de circuit amplificateur d'un détecteur de lumière

5.4 Caractéristiques d'E/S

5.4.1 Généralités

Les caractéristiques d'E/S sont les caractéristiques les plus fondamentales des capteurs de courant optiques. La Figure 6 montre les caractéristiques d'E/S du capteur de courant optique. Dans la situation idéale, le courant à mesurer et la valeur de consigne de sortie sont identiques, mais une erreur se produit dans la réalité. Cette erreur est classée en fonction des trois facteurs suivants.

a) Bruit

Sortie inutile. En particulier, les composantes continues sont appelées des décalages et il convient de les distinguer du bruit. Certains bruits sont corrélés au courant à mesurer, alors que d'autres ne le sont pas. Ils doivent donc être déterminés séparément.

b) Variation de la sensibilité

Phénomène de variation de la sensibilité qui est le coefficient de proportionnalité de la sortie par rapport à l'entrée.

c) Non-linéarité

Phénomène résultant de la variation de sensibilité et qui apparaît lorsque la relation entre la sortie et l'entrée s'écarte d'une droite.

NOTE 1 Lorsqu'un matériau ferromagnétique fait office d'élément Faraday, une non-linéarité due à la saturation magnétique apparaît.

NOTE 2 Lorsqu'un matériau amagnétique fait office d'élément Faraday, aucun phénomène de saturation n'apparaît. En revanche, une non-linéarité due à la méthode de traitement du signal apparaît dans certains cas.

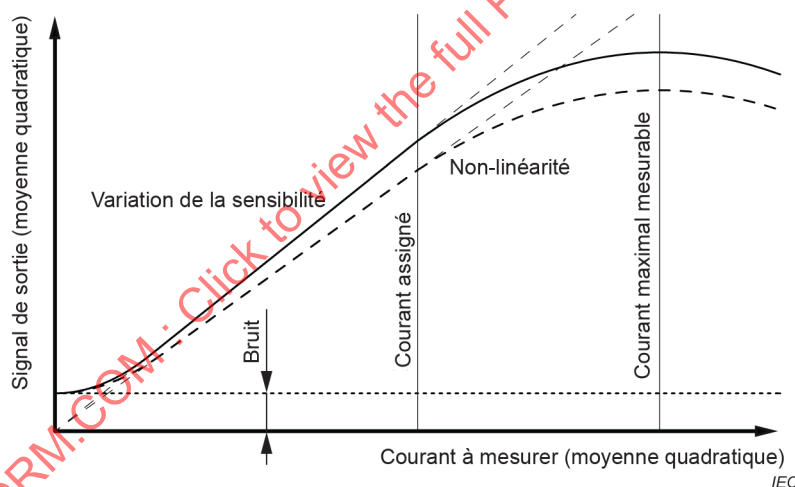


Figure 6 – Caractéristiques d'E/S d'un capteur de courant optique

Ces erreurs correspondent à la fluctuation de la sortie du capteur, comme l'indique la ligne de pointillés de la Figure 6.

Comme l'erreur décrite ci-dessus présente un comportement différent des facteurs d'erreur prescrits aux 5.8.1 et 5.8.5, etc., ces erreurs doivent être respectivement déterminées pour le bruit, la variation de sensibilité et la non-linéarité.

En général, dans le capteur de courant optique, lorsque le courant à mesurer est supérieur à une certaine valeur, la sortie sature et le phénomène de diminution de la sortie est observable comme représenté à la Figure 6. Le fabricant du capteur de courant optique spécifie la valeur du courant maximal mesurable en dessous de laquelle le signal de sortie n'augmente plus en raison d'une telle saturation, et il définit ladite valeur dans les spécifications. Le fabricant détermine également le courant assigné en tant que limite supérieure de mesure du courant avec une exactitude élevée sans être affecté par la saturation, et il définit sa valeur dans les spécifications.

En raison du bruit, de la variation de la sensibilité et de la non-linéarité, la sortie réelle du capteur varie entre le trait plein et la ligne de pointillés de la Figure 6.

5.4.2 Méthode d'essai

Le Tableau 2 indique les méthodes d'essai permettant de déterminer les composantes d'erreur constituées du bruit, de la variation de sensibilité et de la non-linéarité du capteur de courant optique. L'essai doit être réalisé en appliquant 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 avec une non-linéarité inférieure ou égale à 1 % avec une sortie analogique, et si l'exactitude obtenue n'est pas suffisante dans un dispositif d'enregistrement de formes d'onde tel qu'un oscilloscope, la méthode du pont peut s'appliquer en complément de la méthode de comparaison des formes d'onde.

Tableau 2 – Méthode d'essai

Eléments	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	NA ^a
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
^a Non applicable.			

Les exemples suivants de configurations d'essai utilisent la méthode de comparaison des formes d'onde et la méthode du pont à courant alternatif.

a) Méthode de comparaison des formes d'onde

La Figure 7 montre un exemple de configuration de l'essai de mesure de caractéristiques qui utilise la méthode de comparaison des formes d'onde. Un transformateur de courant ou une résistance de shuntage peut être utilisé comme critère de comparaison. La Figure 7 montre un exemple utilisant un transformateur de courant. Le courant mesuré par le transformateur et la sortie du capteur de courant optique sont mesurés et enregistrés dans un dispositif d'enregistrement de formes d'onde tel qu'un oscilloscope ou un enregistreur de données. Le transformateur de courant ou la résistance de shuntage et l'appareil d'enregistrement de formes d'onde doivent présenter une exactitude suffisante dans la bande de fréquences de l'essai. Les données doivent être enregistrées sous forme numérique afin de calculer les erreurs et le déphasage au 5.4.4. Pour éviter les erreurs de repliement qui apparaissent au moment de la numérisation, un filtre anti-repliement qui atténue suffisamment les signaux autres que ceux dans la bande de fréquences de mesure de l'appareil d'enregistrement de formes d'onde doit être installé en amont de l'appareil d'enregistrement.

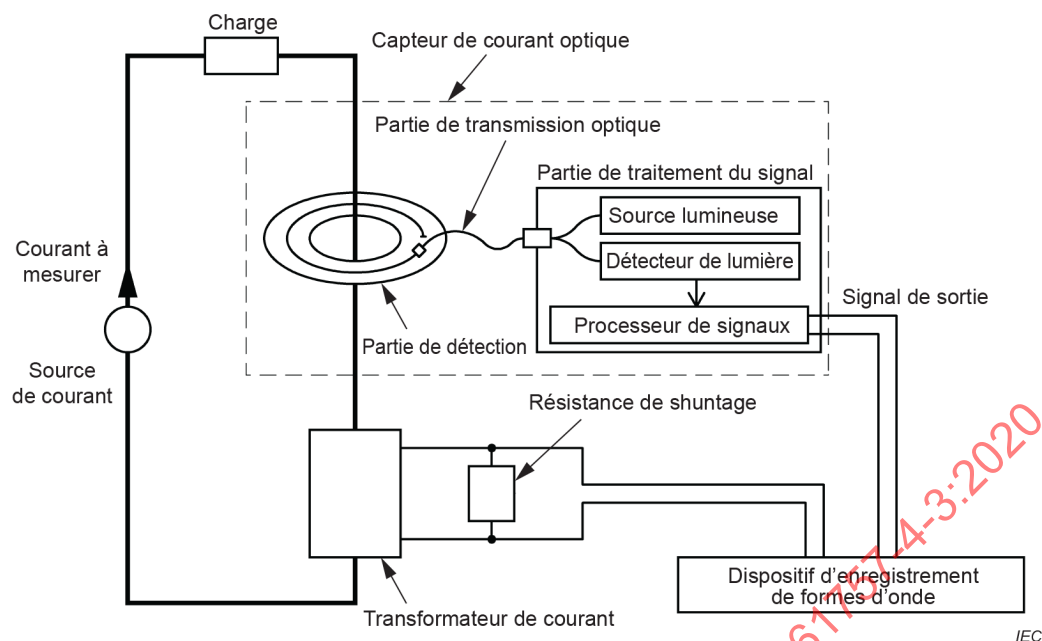


Figure 7 – Système de mesure de la méthode de comparaison des formes d'onde

b) Méthode du pont à courant alternatif

Dans le cas d'un appareil d'enregistrement de formes d'onde tel qu'un oscilloscope, si l'exactitude est insuffisante, il convient d'utiliser une méthode à courant nul. La Figure 8 montre un exemple de configuration d'essai avec un capteur de courant optique à sortie de tension analogique. Un transformateur de courant ou une résistance de shuntage peut être utilisé comme critère de comparaison. Une impédance utilisée pour l'équilibrage du capteur de courant optique est une combinaison d'une résistance de shuntage, d'une résistance variable et d'un condensateur variable. Une variation de la sensibilité du capteur de courant optique est obtenue à partir du point d'équilibre. Comme seules la variation de la sensibilité et la non-linéarité prescrites au 5.4.1 peuvent être obtenues par cette méthode, le bruit doit être déterminé par la méthode de comparaison des formes d'onde décrite en a).

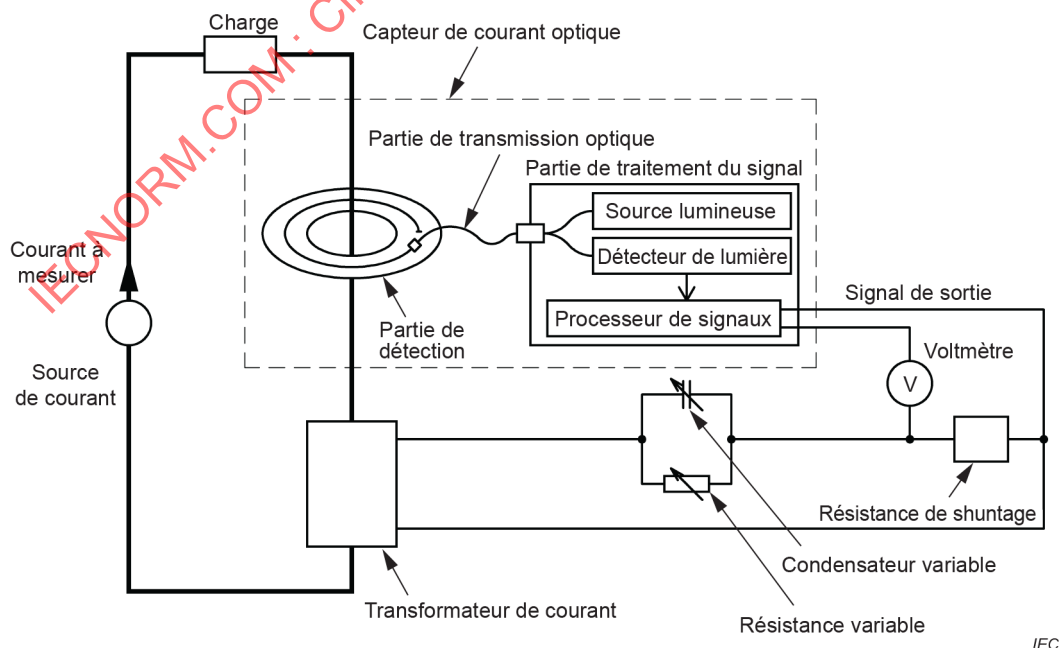


Figure 8 – Système de mesure de la méthode du pont à courant alternatif

5.4.3 Procédure d'essai

5.4.3.1 En cas d'utilisation avec un courant alternatif ou un courant alternatif/continu

Pour comprendre le bruit, la variation de sensibilité et la non-linéarité décrits au 5.4.1, la forme d'onde du critère de comparaison doit être comparée à la forme d'onde de sortie du capteur de courant optique tout en faisant varier le courant à mesurer. Cette comparaison est effectuée aux valeurs de courant d'essai énumérées ci-dessous, où le courant à mesurer varie de zéro jusqu'au courant maximal mesurable.

a) A courant nul

1) Bruit

Il convient de déterminer l'intensité du bruit à chaque fréquence, en utilisant autant que possible une fonction d'analyse fréquentielle (transformée de Fourier rapide) d'un oscilloscope. En particulier, il est fortement probable que la composante fréquentielle du courant à mesurer et ses harmoniques affectent le système de manière préjudiciable.

b) Au courant de bruit équivalent et sensiblement égal au double de cette valeur

- 1) Sépare le bruit en une composante qui est corrélée au courant et en une composante qui n'est pas corrélée au courant.
- 2) Si le bruit I_{bruit} est inclus, l'amplitude de la composante alternative de la sortie du capteur de courant optique I_O est exprimée par l'Equation (1).

$$I_O = I_{\text{signal}} + I_{\text{bruit}} \quad (1)$$

où:

I_O est l'amplitude de la composante alternative de la sortie de courant de la fibre optique;

I_{signal} est la valeur du courant à mesurer;

I_{bruit} est le bruit.

- 3) Si I_{bruit} n'est pas corrélé au courant, ce qui est le cas lorsque le bruit I_{bruit} disparaît dans l'Equation (1) après une durée de mesure suffisamment longue pendant laquelle la forme d'onde est moyennée, alors l'Equation (1) devient l'Equation (2).

$$I_O = I_{\text{signal}} \quad (2)$$

c) En plusieurs points entre le courant qui sont sensiblement égaux au double du courant de bruit équivalent et au courant assigné.

Ceci est destiné à obtenir une variation exacte de la sensibilité de mesure.

d) En plusieurs points entre le courant assigné et le courant maximal mesurable.

Ceci est destiné à obtenir une non-linéarité exacte de la mesure.

Dans la méthode de comparaison des formes d'onde, les données acquises par le dispositif d'enregistrement de formes d'onde sont approximées de manière sinusoïdale par la méthode des moindres carrés pour trouver l'amplitude et la phase. L'approximation sinusoïdale est réalisée dans l'Equation (3) pour le courant à mesurer qui est mesuré par le critère de comparaison, et dans l'Equation (4) pour la sortie du capteur de courant optique.

$$i_1 = I_1 \times \sin(\omega \times t + \theta_1) + I_{\text{DCI}} \quad (3)$$

où:

i_1 est le courant à mesurer qui est mesuré par critère de comparaison;

I_1 est l'amplitude de la composante alternative du courant à mesurer;

I_{DCI} est la composante continue du courant à mesurer;

t est le temps;

ω est la fréquence angulaire du courant à mesurer;

θ_I est la phase du courant à mesurer.

$$i_O = I_O \times \sin(\omega \times t + \theta_O) + I_{DCO} \quad (4)$$

où:

i_O est la sortie du capteur de courant optique;

I_O est l'amplitude de la composante alternative de la sortie du capteur de courant optique;

I_{DCO} est la composante continue de la sortie du capteur de courant optique;

t est le temps;

ω est la fréquence angulaire du courant à mesurer (qui est égale à la fréquence angulaire du capteur de courant optique);

θ_O est la phase de la sortie du capteur de courant optique.

5.4.3.2 En cas d'utilisation avec un courant continu

Pour comprendre le bruit, la variation de sensibilité et la non-linéarité décrits au 5.4.1, la forme d'onde du critère de comparaison doit être comparée à la forme d'onde de sortie du capteur de courant optique tout en faisant varier le courant à mesurer. Cette comparaison est effectuée aux valeurs de courant énumérées ci-dessous.

a) A courant nul

Trouver le décalage par rapport à la valeur moyenne de la sortie du capteur de courant optique au courant nul.

b) En plusieurs points entre le courant qui sont sensiblement égaux au double du courant de bruit équivalent et au courant assigné

Ceci est destiné à obtenir une variation exacte de la sensibilité de mesure.

c) En plusieurs points entre le courant assigné et le courant maximal mesurable

Ceci est destiné à obtenir une non-linéarité exacte de la mesure.

5.4.4 Evaluation

5.4.4.1 En cas d'utilisation avec un courant alternatif ou un courant alternatif/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 courant optique avec les spécifications exigées.

a) Erreur

Il convient d'exprimer l'erreur avec une erreur à pleine échelle définie dans l'Equation (5). D'autres méthodes de notation peuvent être utilisées si nécessaire.

$$\varepsilon_{FS} = \frac{I_O - I_I}{I_{FS}} \quad (5)$$

où:

ε_{FS} est l'erreur à pleine échelle;

I_I est l'amplitude de la composante alternative du courant à mesurer;

I_O est l'amplitude de la composante alternative de la sortie du capteur de courant optique;

I_{FS} est le courant maximal mesurable.

b) Déphasage

Le déphasage δ entre le courant à mesurer et la sortie du capteur de courant optique est obtenu par l'Equation (6), sur la base de θ_O et θ_I , qui sont déterminés par approximation des Equations (1) et (2).

$$\delta = \theta_O - \theta_I \quad (6)$$

où:

θ_O est la phase de la sortie de courant de la fibre optique;

θ_I est la phase du courant à mesurer.

c) Bruit

La valeur efficace de la sortie du capteur de courant optique au courant nul à mesurer est définie comme le bruit d'entrée équivalent.

Les caractéristiques du filtre anti-repliement utilisé doivent être spécifiées dans le rapport d'essai.

5.4.4.2 En cas d'utilisation avec un courant continu

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

Il convient d'exprimer l'erreur avec une erreur à pleine échelle définie dans l'Equation (7). D'autres méthodes de notation peuvent être utilisées si nécessaire.

$$e_{FS} = \frac{I_{ODC} - I_{IDC}}{I_{FS}} \quad (7)$$

où:

e_{FS} est l'erreur à pleine échelle;

I_{IDC} est la valeur moyenne du courant à mesurer;

I_{ODC} est la valeur moyenne de la sortie de courant de la fibre optique;

I_{FS} est le courant maximal mesurable.

5.5 Durée de préchauffage

5.5.1 Généralités

Le capteur de courant optique ne satisfait pas aux caractéristiques exigées tant qu'une certaine période ne s'est pas écoulée depuis la mise en marche de l'alimentation électrique. C'est la raison pour laquelle la durée de préchauffage est décrite dans les spécifications exigées du capteur de courant optique pour indiquer clairement que la performance exigée n'est pas obtenue tant que ce laps de temps ne s'est pas écoulé.

5.5.2 Méthode d'essai

Avec le courant nul et le courant assigné en tant que courant à mesurer, la source d'alimentation du capteur de courant optique est mise sous tension et la sortie du capteur de courant optique est soumise à essai une fois que la durée de préchauffage s'est écoulée.

5.5.3 Evaluation

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

5.6 Courants à appliquer pour obtenir chaque paramètre

Les courants à appliquer pour obtenir chaque paramètre sont indiqués dans le Tableau 3.

Tableau 3 – Courants à appliquer pour obtenir chaque paramètre

Éléments	Caractéristiques	Sortie du capteur de courant optique à courant nul	Sensibilité et phase au courant assigné	Sensibilité et phase au courant maximal mesurable	Paragraphe décrivant la méthode d'essai
Dépendance aux paramètres d'entrée	Caractéristique de fréquence	NA ^a	x ^b	x	5.7.1
	Caractéristique en régime transitoire	NA	x	x	5.7.2
Dépendance à l'environnement extérieur	Caractéristique thermique en régime établi	x	x	x	5.8.1
	Caractéristique thermique en régime transitoire	x	x	NA	5.8.2
	Champ magnétique externe	x	NA	NA	5.8.3
	Position du conducteur	x	NA	NA	5.8.4
	Vibrations	x	x	NA	5.8.5
^a NA indique que la mise en œuvre est non applicable. ^b x indique que la mise en œuvre est recommandée.					

5.7 Dépendance aux paramètres d'entrée

5.7.1 Caractéristique de fréquence

5.7.1.1 Généralités

La caractéristique de fréquence du capteur de courant optique dépend de chaque caractéristique de fréquence des parties de détection, de transmission optique et de traitement du signal. Comme la sensibilité des parties de détection et de transmission optique est constante du courant continu jusqu'à plusieurs dizaines de mégahertz, la caractéristique de fréquence du capteur de courant optique découle principalement de celle de la partie de traitement du signal. En cas d'utilisation d'un filtre pour éliminer le bruit et/ou éviter une erreur de repliement générée au moment de l'échantillonnage, la partie de traitement du signal présente une caractéristique de fréquence en fonction de la bande du filtre.

5.7.1.2 Méthode d'essai

La sortie de la partie de traitement du signal est mesurée à des fréquences de plusieurs points ou de dizaines de points allant de la fréquence minimale mesurable à la fréquence maximale mesurable sous un courant constant à mesurer. Il convient que la valeur de courant à mesurer soit pratiquement égale au courant assigné et au courant maximal mesurable. Si le courant assigné ou le courant maximal mesurable ne peut pas circuler en raison des limites du matériel d'essai, la valeur de courant à mesurer doit être spécifiée dans le rapport d'essai.

5.7.1.3 Evaluation

La caractéristique de fréquence est évaluée en comparant l'erreur et la phase de la sortie de la partie de traitement du signal avec les spécifications exigées.

5.7.2 Caractéristique en régime transitoire

5.7.2.1 Objectif

La caractéristique en régime transitoire du capteur de courant optique définit la durée nécessaire pour que la sortie de la partie de traitement du signal retourne en régime établi lorsque le courant à mesurer augmente ou diminue brusquement. Il est préférable d'utiliser une réponse à un échelon en tant que méthode de mesure de cette caractéristique. Comme décrit au 5.7.1, alors que les parties de détection et de transmission optique ont des bandes de plusieurs dizaines de mégahertz ou plus, la partie de traitement du signal utilise un filtre passe-bas et a, par conséquent, un délai de réponse qui dépend de la bande du filtre. C'est la raison pour laquelle il faut déterminer les caractéristiques en régime transitoire. Les paramètres de performance à mesurer sont:

t_r temps de montée;

t_d temps de retard;

t_p temps de crête;

t_s temps de stabilisation;

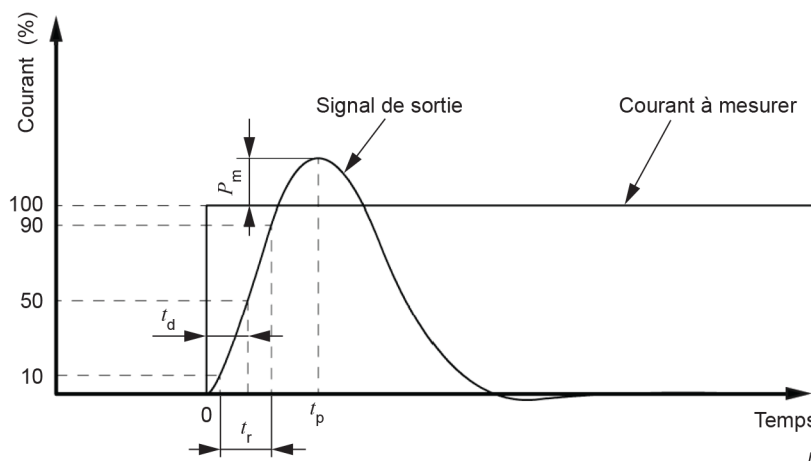
P_m dépassement.

5.7.2.2 Méthode d'essai

L'essai de mesure des caractéristiques en régime transitoire utilise deux méthodes: une méthode spécifique au courant alternatif et une méthode à courant continu/alternatif. Les caractéristiques en régime transitoire de ces méthodes sont indiquées ci-dessous.

a) Méthode spécifique au courant alternatif

La Figure 9 montre les caractéristiques en régime transitoire du système à 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 augmente d'abord derrière la forme d'onde en échelon et converge finalement vers zéro. C'est la raison pour laquelle les caractéristiques en régime transitoire doivent être soumises à essai sur le temps de réponse montant dans le système à courant alternatif, puis le temps de montée, le temps de retard, le temps de dépassement et la quantité de dépassement doivent être mesurés. Le temps de montée correspond à l'instant où la sortie du processeur de signaux passe de 10 % à 90 % de la forme d'onde en échelon, et le temps de retard correspond à l'instant où la sortie du processeur passe de 0 % à 50 %.



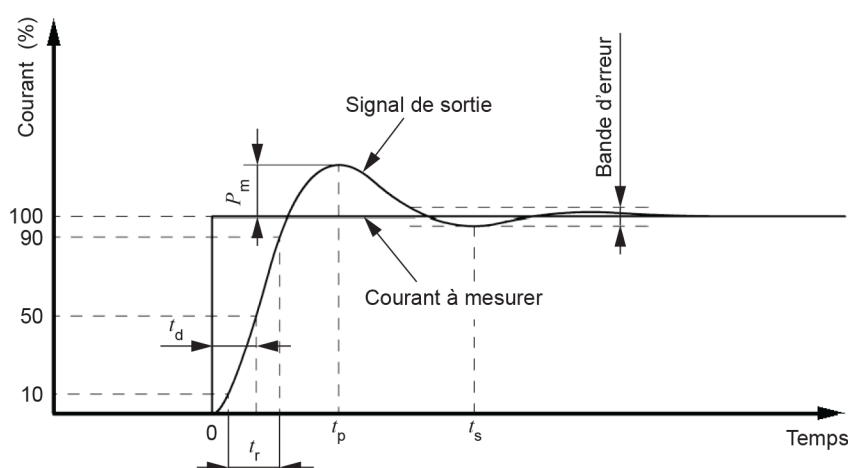
Légende

- t_r temps de montée
- t_d temps de retard
- t_p temps de crête
- P_m dépassement

Figure 9 – Caractéristiques en régime transitoire du système à courant alternatif

b) Méthode à courant continu/alternatif

La Figure 10 montre les caractéristiques en régime transitoire du système à courant continu/alternatif. Dans la méthode à courant continu/alternatif, comme le courant à mesurer peut être mesuré du courant continu au courant alternatif, lorsqu'une forme d'onde en échelon est appliquée à l'entrée de la partie de détection, la sortie de la partie de traitement du signal augmente derrière la forme d'onde en échelon et converge finalement vers la même valeur de crête que celle de la forme d'onde en échelon. Par conséquent, dans le système à courant continu/alternatif, les caractéristiques en régime transitoire doivent être soumises à essai sur le temps de réponse montant et le temps de retour en régime établi, et le temps de montée, le temps de retard, le temps de dépassement, le temps de stabilisation et la quantité de dépassement doivent être mesurés. La méthode de calcul du temps de montée et du temps de retard est la même que celle de la méthode à courant alternatif.



Légende

- t_r temps de montée
- t_d temps de retard
- t_p temps de crête
- t_s temps de stabilisation
- P_m dépassement

Figure 10 – Caractéristiques en régime transitoire du système à courant continu/alternatif

5.7.2.3 Evaluation

Les caractéristiques en régime transitoire du capteur de courant optique sont évaluées en comparant le temps de montée, le temps de retard, le temps de crête, le temps de stabilisation et la quantité de dépassement de la sortie de la partie de traitement du signal par rapport à la forme d'onde en échelon appliquée à l'entrée de la partie de détection, avec les spécifications exigées.

5.8 Dépendance à l'environnement extérieur

5.8.1 Essai de mesure des caractéristiques thermiques en régime établi

5.8.1.1 Objectif

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

5.8.1.2 Parties à soumettre à essai

Si la température varie de manière significative en raison de l'environnement des parties de traitement du signal et de détection, leurs caractéristiques thermiques doivent être soumises à essai séparément.

a) Partie de détection

L'angle de rotation du plan de polarisation dû à l'effet Faraday dépend de l'intensité du champ magnétique et de la constante de Verdet. Comme la constante de Verdet dépend 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, l'influence de la dépendance à la température de l'élément optique inclus dans la partie de transmission optique est trop importante pour être ignorée par rapport à la sortie.

b) Partie de transmission optique

L'essai est réalisé si la caractéristique thermique dans la partie de transmission optique peut affecter les spécifications exigées du capteur de courant 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 dans des environnements à haute et/ou basse température, en affectant ainsi les performances du capteur de courant optique. Il est souhaitable de fixer la longueur de la partie de transmission optique à la distance maximale supposée au moment de l'utilisation pratique.

c) Partie de traitement du signal

Les performances des parties électriques/électroniques qui constituent un circuit présentent une dépendance à la température. La dépendance à la température de la sortie de lumière et de la longueur d'onde de la source lumineuse est également connue, tout comme le fait que le détecteur de lumière est dépendant du courant d'obscurité et de la sensibilité. Comme le bruit thermique augmente à mesure que la température s'élève, une attention particulière doit être portée à l'augmentation du bruit, notamment dans un environnement à haute température.

5.8.1.3 Configuration d'essai

La Figure 11 montre un exemple de configuration de l'essai de mesure des caractéristiques thermiques en régimes établi et transitoire de la partie de détection. Les exigences relatives au matériel et aux conditions d'essai sont les suivantes.

a) Enceinte thermostatique

Les dimensions intérieures de l'enceinte thermostatique permettent de recevoir l'objet en essai dans un état installé. Lors de l'essai de chaque partie de détection, de transmission optique ou de traitement du signal, l'enceinte doit comporter un trou pour le passage de la partie de transmission optique et du conducteur.

b) Courant d'essai

Les parties de détection et de transmission optique fonctionnent au courant assigné. La partie de traitement du signal fonctionne au courant assigné et à courant nul. Si le conducteur ne peut pas être alimenté en courant assigné en raison des contraintes dues à l'essai, un champ magnétique équivalent au courant assigné est appliqué de manière similaire à l'objet en essai en utilisant une bobine d'excitation, ou bien un courant nettement supérieur à l'entrée de bruit équivalent est fourni à la bobine d'excitation. La fréquence unique applicable est celle déterminée dans la bande de fréquences indiquée dans les spécifications. La valeur du courant d'essai, le nombre de spires excitées de la bobine et la fréquence d'essai doivent être spécifiés dans le rapport d'essai.

c) Source de courant

Il est préférable d'utiliser une alimentation en courant électrique constante.

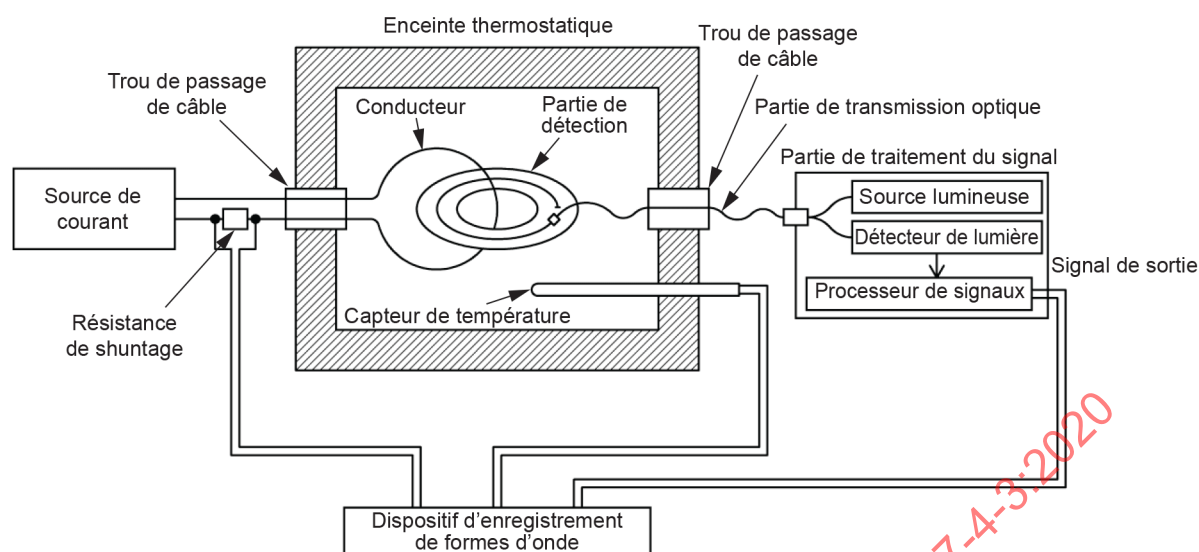
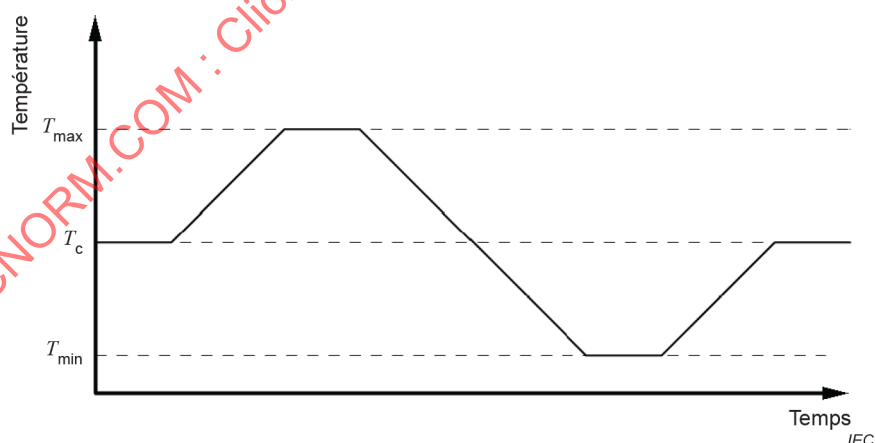


Figure 11 – Exemple de configuration d'un essai de mesure de caractéristiques thermiques en régimes établi et transitoire de la partie de détection

5.8.1.4 Méthode d'essai

La température d'essai doit être en tout point comprise entre 15 °C et 35 °C, ces valeurs représentant les limites supérieure et inférieure de la température de fonctionnement.

Lors de l'augmentation de la température d'essai ou de la détermination d'une vitesse de variation de la température, il est souhaitable d'organiser une consultation entre un fabricant et un utilisateur pour négociation. Il est préférable 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 12 montre un exemple de profil de température.



Légende

T_c tout point entre 15 °C et 35 °C

T_{max} limite supérieure de la gamme de températures de fonctionnement

T_{min} limite inférieure de la gamme de températures de fonctionnement

Figure 12 – Exemple de profil de température

5.8.1.5 Evaluation

L'évaluation de la caractéristique thermique en régime établi est effectuée en mesurant l'erreur et le déphasage de la sortie du capteur de courant optique dans la gamme de températures de fonctionnement, et en comparant le résultat avec les spécifications exigées.

5.8.2 Essai de mesure des caractéristiques thermiques en régime transitoire

5.8.2.1 Généralités

Dans les situations où la température ambiante de la partie de détection varie, la distribution thermique des pièces constituant la partie de détection devient non uniforme. En résultat, la lumière polarisée est influencée par la photoélasticité, etc., qui entraîne l'alternance de la sortie du capteur de courant optique, et des erreurs de mesure peuvent survenir. De plus, en complétant les caractéristiques thermiques de l'élément optique et du circuit électronique en insérant un capteur de température pour le réglage, il est à craindre l'apparition d'une différence entre le point de mesure de la température et l'élément optique/le circuit électronique, car cette dernière partie est en fait affectée par la température. Si le capteur de courant optique est utilisé dans un environnement soumis à des variations de température, le contrôle de la caractéristique thermique avec une distribution thermique uniforme ne s'avère pas suffisant. Les caractéristiques thermiques dynamiques doivent plutôt être contrôlées.

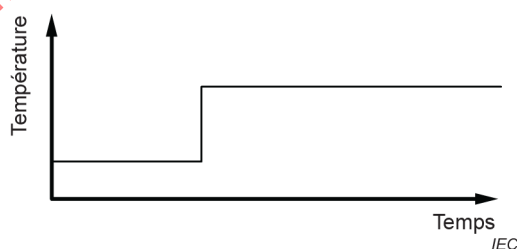
5.8.2.2 Parties à soumettre à essai

Lorsque les variations de température de l'environnement des parties de traitement du signal, de transmission optique et de détection deviennent trop importantes pour être ignorées, ces caractéristiques thermiques en régime transitoire doivent être mesurées séparément.

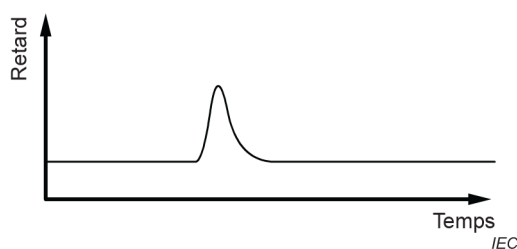
a) Partie de détection

La partie de détection qui est liée à la bobine d'excitation est placée dans l'enceinte thermostatique. Ensuite, la vitesse de variation de température qui correspond à l'environnement d'utilisation réel est contrôlée, et la variation de la sortie du capteur de courant optique est mesurée.

Lorsque la température varie dans la partie de détection, comme représenté à la Figure 13 a), la biréfringence β peut augmenter brusquement, comme représenté à la Figure 13 b), et l'erreur de mesure peut devenir plus élevée que dans le cas du régime établi de biréfringence.



a) Variation de température



b) Variation de biréfringence

Figure 13 – Variation de la biréfringence pendant une variation de température

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 par rapport à la variation de température de l'environnement.

5.8.2.3 Configuration d'essai

La Figure 11 montre un exemple de configuration de l'essai de mesure des caractéristiques thermiques en régimes établi et transitoire de la partie de détection. Les exigences relatives au matériel et aux conditions d'essai sont les suivantes.

a) Enceinte thermostatique

Les dimensions intérieures de l'enceinte thermostatique permettent de recevoir l'objet en essai dans un état installé. En particulier, lorsqu'une forte variation de température est exigée, il convient d'utiliser un appareillage d'essai aux chocs thermiques à deux bains. Il est toutefois permis d'utiliser un appareillage d'essai aux chocs thermiques à un seul réservoir si la variation de température obtenue est suffisante. 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 partie de transmission optique et du conducteur.

b) Courant d'essai

Les parties de détection et de transmission optique fonctionnent au courant assigné. La partie de traitement du signal fonctionne au courant assigné et à courant nul. Si le conducteur ne peut pas être alimenté en courant assigné en raison des contraintes dues à l'essai, un champ magnétique équivalent au courant assigné est appliqué de manière similaire à l'objet en essai en utilisant une bobine d'excitation, ou bien un courant nettement supérieur à l'entrée de bruit équivalent est fourni à la bobine d'excitation. La fréquence unique applicable est celle déterminée dans la bande de fréquences indiquée dans les spécifications. La valeur du courant d'essai, le nombre de spires excitées de la bobine et la fréquence d'essai doivent être spécifiés dans le rapport d'essai.

c) Source de courant

Il est préférable d'utiliser une alimentation en courant électrique constante.

5.8.2.4 Méthode d'essai

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

La vitesse de variation de la température doit être supérieure à celle supposée en conditions réelles.

La température d'essai doit être celle des quatre points suivants. Une température d'essai supplémentaire doit, le cas échéant, être déterminée après négociation entre un fabricant et un utilisateur.

- a) Tout point compris entre 15 °C et 35 °C, jusqu'à la limite supérieure de la gamme de températures de fonctionnement.
- b) Tout point compris entre 15 °C et 35 °C, jusqu'à la limite inférieure de la gamme de températures de fonctionnement.
- c) De la limite supérieure de la gamme de températures de fonctionnement jusqu'à tout point compris entre 15 °C et 35 °C.
- d) De la limite inférieure de la gamme de températures de fonctionnement jusqu'à tout point compris entre 15 °C et 35 °C.

La température d'essai doit être maintenue à un certain niveau pendant une période spécifique afin de garder une température stable dans l'enceinte thermostatique avant et après la variation de température. La sortie du capteur de courant optique est mesurée en continu depuis l'instant où la température de l'objet en essai se stabilise complètement avant la variation de température, jusqu'à l'instant où la température de l'objet en essai se stabilise complètement après la variation de température. La Figure 14 montre un exemple de programme de température.

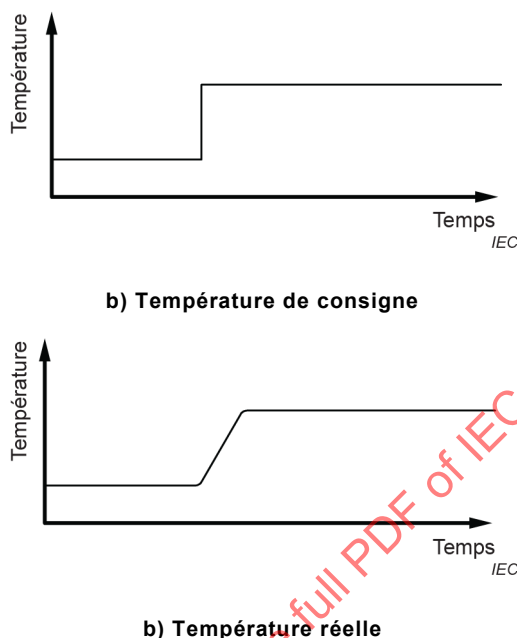


Figure 14 – Exemple de programme de température

5.8.2.5 Evaluation

L'évaluation doit être réalisée en mesurant l'erreur et le déphasage de la valeur de sortie du capteur de courant optique à la variation de température dans la gamme de températures de fonctionnement, et en comparant le résultat avec les spécifications exigées.

5.8.3 Essai de champ magnétique externe

5.8.3.1 Objectif

Comme le capteur de courant optique mesure le courant via le champ magnétique induit par le courant à mesurer circulant dans le conducteur, il convient de tenir compte de l'influence du champ magnétique externe. Une erreur due à l'influence de ce champ magnétique externe apparaît notamment lorsque la boucle fermée de l'élément Faraday est incomplète et lorsque la biréfringence de la fibre optique du capteur n'est pas uniforme. La proximité d'un conducteur excité est la cause la plus courante du champ magnétique externe. En particulier, plus le conducteur excité est proche de la frontière entre l'élément Faraday de la partie de détection et la partie de transmission optique, plus le nombre d'erreurs observées est élevé. C'est la raison pour laquelle un essai doit être réalisé afin de déterminer l'influence du champ magnétique externe en faisant passer le courant à l'extérieur de la boucle fermée, sous réserve qu'aucun courant à mesurer ne circule.

L'Annexe D décrit la théorie sous-jacente à l'estimation de l'influence du champ magnétique externe du capteur de courant optique.

5.8.3.2 Méthode d'essai

La Figure 15 indique la position du conducteur extérieur dans l'essai de champ magnétique externe, lorsque l'élément Faraday est une fibre optique. Pour enregistrer la position du conducteur pendant l'essai, le capteur de courant optique affiche le point de référence de la mesure d'angle. Un conducteur externe est placé à l'extérieur de la boucle fermée de la fibre optique du capteur, et la sortie du capteur de courant optique est mesurée. Les valeurs de mesure suivantes doivent être consignées dans le rapport d'essai:

- la distance (r) entre le centre (x) de la boucle fermée et le conducteur extérieur;
- l'angle (θ) entre la droite reliant le centre de la boucle fermée et le repère de rotation, et la position du conducteur extérieur;
- la valeur du courant circulant dans le conducteur extérieur.

θ est mesuré aux quatre points tous les 90°.

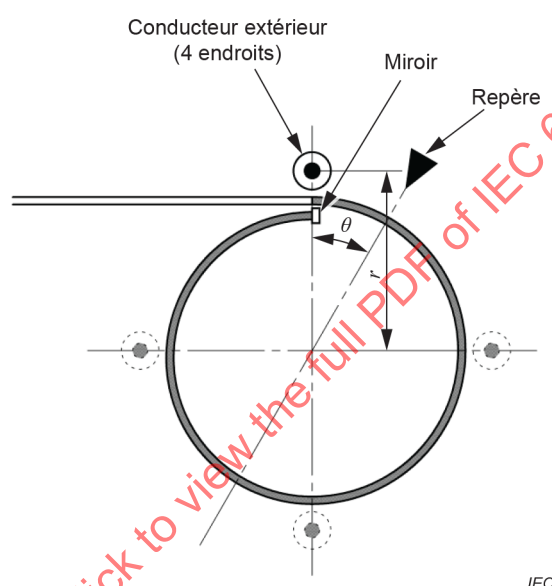


Figure 15 – Position du conducteur extérieur dans l'essai de champ magnétique externe, lorsque l'élément Faraday est une fibre optique

5.8.3.3 Evaluation

L'influence du champ magnétique externe du capteur de courant optique doit être évaluée en mesurant la sortie du capteur sans circulation du courant à mesurer, et en comparant le résultat avec les spécifications exigées.

5.8.4 Essai de position du conducteur

5.8.4.1 Objectif

L'essai de position du conducteur est réalisé car la sortie de courant du capteur de courant optique peut dépendre d'une position relative de ce capteur par rapport à un conducteur.

5.8.4.2 Méthode d'essai

Sauf spécification contraire, la position de base du conducteur est le centre de la boucle fermée de la fibre optique de détection de courant. Selon l'application, il convient également de contrôler, si cela est exigé, l'effet lorsque le conducteur n'est pas positionné au centre de la boucle fermée. La Figure 16 indique la position du conducteur dans l'essai de position du conducteur, lorsque l'élément Faraday est une fibre optique. Pour enregistrer la position du conducteur pendant l'essai, le capteur de courant optique affiche le point de référence de la mesure d'angle. Le conducteur est placé à l'intérieur de la boucle fermée de la fibre optique du capteur. Les valeurs de mesure suivantes doivent être consignées dans le rapport d'essai:

- la distance (r) entre le centre (X) de la boucle fermée et le conducteur;
- l'angle (θ) entre la ligne reliant le repère de rotation et le centre de la boucle fermée, et la position du conducteur;
- la valeur du courant circulant dans le conducteur.

θ est mesuré aux quatre points tous les 90° .

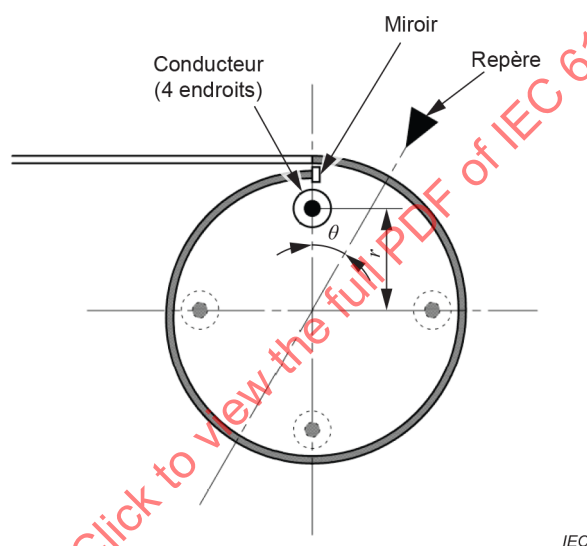


Figure 16 – Position du conducteur dans l'essai de position du conducteur, lorsque l'élément Faraday est une fibre optique

5.8.4.3 Evaluation

L'influence de la position du conducteur doit être évaluée en mesurant la sortie du capteur de courant optique par rapport au courant à mesurer, et en comparant le résultat avec les spécifications exigées.

5.8.5 Essai de vibrations

5.8.5.1 Objectif

Il convient de réaliser l'essai de vibrations dès qu'un capteur de courant optique est soumis à des vibrations.

5.8.5.2 Méthode d'essai

L'essai est réalisé en mesurant une variation de la sortie du capteur de courant optique lorsque des vibrations sont appliquées aux parties de détection, de transmission optique et de traitement du signal. Les conditions de l'essai de vibrations sont établies en tenant compte de l'environnement d'utilisation réel. Le courant à mesurer est le courant assigné et le courant nul.

Il convient que la méthode d'application des vibrations soit comme suit.

- a) Partie de détection
 - Essai de choc
 - Essai de secousses
- b) Partie de transmission optique
 - Essai de choc
- c) Partie de traitement du signal
 - Essai de choc
 - Essai de secousses

5.8.5.3 Evaluation

L'essai de vibrations est évalué en mesurant l'erreur de la sortie du capteur de courant optique au moment de l'application des vibrations, et en comparant le résultat avec les spécifications exigées.

Annexe A (informative)

Principe du capteur de courant optique

A.1 Préambule

L'Annexe A décrit l'effet Faraday qui est le principe sous-jacent à la détection du courant, ainsi que la méthode à appliquer pour détecter le courant en utilisant l'effet Faraday.

A.2 Effet Faraday

Lorsque la lumière traverse un milieu amagnétique transparent (diamagnétique ou paramagnétique) placé dans un champ magnétique, le plan de polarisation tourne. Cet effet, appelé «effet Faraday», est le principe de base de la détection des capteurs de courant optiques qui utilisent la méthode polarimétrique (voir Figure A.1). L'angle de rotation (angle de rotation Faraday) θ_F du plan de polarisation est exprimé par l'Equation (A.1):

$$\theta_F = VHL \quad (\text{A.1})$$

où:

θ_F est l'angle de rotation Faraday (degrés);

H est l'intensité du champ magnétique (composante de la direction de propagation de la lumière) (A/m);

L est la longueur de l'élément Faraday (m);

V est la constante de Verdet (degrés/A, selon le type de milieu et la longueur d'onde de la lumière).

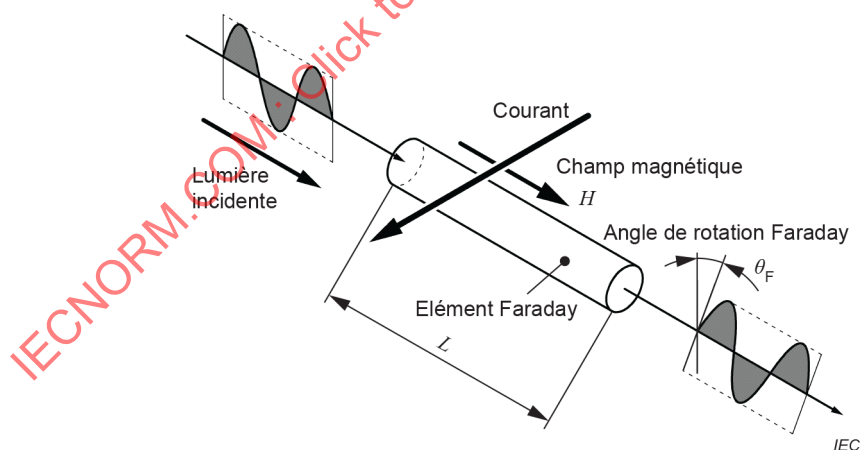


Figure A.1 – Effet Faraday

L'Equation (A.1) montre que l'angle de rotation Faraday est proportionnel à l'intensité du champ magnétique appliqué au milieu transparent. A ce propos, le plan de polarisation tourne en raison de la différence d'indice de réfraction (biréfringence circulaire) entre la lumière polarisée circulairement à droite et la lumière polarisée circulairement à gauche. Par conséquent, si ce milieu est utilisé en tant qu'élément Faraday et que l'angle de rotation Faraday est mesuré par une méthode spécifique, il est possible de déterminer l'amplitude du courant, qui est une source de production du champ magnétique. Les types d'éléments Faraday à utiliser sont décrits en A.3.

Il est supposé ici que les dimensions du milieu permettent le passage d'un faisceau lumineux. Un tel élément est appelé «élément massif».

A.3 Types d'éléments Faraday

Les éléments Faraday sont classés dans l'un des trois types suivants de la Figure 3.

a) Élément à fibre optique

Lorsqu'un champ magnétique est appliqué à la fibre optique, la lumière polarisée dans le mode de propagation à travers la fibre tourne en fonction de l'application du champ magnétique. Par conséquent, une fibre optique peut faire office d'élément Faraday. Dans ce cas, il est toutefois nécessaire d'utiliser une fibre optique unimodale en tant qu'élément Faraday, car dans une fibre optique multimodale dans laquelle la lumière peut se propager dans plusieurs modes, l'état de polarisation change à mesure que la lumière progresse à travers la fibre optique, en raison de la distorsion modale. Bien que la fibre optique engendre de nombreuses autres exigences en tant qu'élément Faraday, l'une des exigences de base est de satisfaire à la condition unimodale.

b) Élément massif amagnétique

Cet élément massif est constitué d'un milieu amagnétique transparent (diamagnétique ou paramagnétique), tel que décrit à l'Article A.2.

c) Élément en cristal ferromagnétique

Un cristal ferromagnétique en grenat d'yttrium et de fer (YIG) peut également faire office d'élément Faraday. Cependant, l'effet Faraday reçu par la lumière polarisée qui traverse le matériau ferromagnétique est un phénomène dû au changement de motif du domaine magnétique qui a une rotation optique fixe lorsque le champ magnétique est appliqué, et dans la section transversale du domaine magnétique. Par conséquent, lorsque l'effet Faraday d'un cristal ferromagnétique est utilisé, il est nécessaire de garder à l'esprit que le phénomène qui apparaît dans ce cas est différent de l'effet Faraday décrit à l'Article A.2.

A.4 Conversion de l'effet Faraday en signal électrique

A.4.1 Détection de l'effet Faraday d'un matériau amagnétique

L'effet Faraday d'un matériau amagnétique peut être décrit comme un phénomène non réciproque au cours duquel une rotation d'un plan de polarisation se propageant dans un milieu est induite par un champ magnétique ou un phénomène de biréfringence non réciproque (biréfringence circulaire) entre deux composants polarisés circulairement.

Par conséquent, en séparant la lumière soumise à l'effet Faraday en deux composantes lumineuses polarisées circulairement et en créant des interférences mutuelles, il est possible de convertir l'effet Faraday en une variation d'intensité lumineuse. L'une des méthodes pour interférer avec la composante de polarisation de référence consiste à introduire la lumière dans un prisme de séparation par polarisation (principe de modulation d'intensité).

Une autre méthode consiste à convertir deux composantes lumineuses polarisées circulairement au même état de polarisation, en créant ainsi des interférences mutuelles (principe interférométrique).

A.4.2 Détection de l'effet Faraday d'un matériau ferromagnétique

Comme décrit à l'Article A.3, l'effet Faraday auquel est soumise la lumière polarisée qui traverse un matériau ferromagnétique est un phénomène dû au changement de motif du domaine magnétique résultant de l'application du champ magnétique à l'élément Faraday, entraînant une variation de la section transversale du domaine magnétique. Par conséquent, si un élément ferromagnétique est utilisé, la méthode de conversion de l'effet Faraday en intensité lumineuse diffère selon si l'élément est un monocristal ou un polycristal. Par ailleurs, la relation entre le champ magnétique appliqué et l'intensité lumineuse est différente de celle du cas où