

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Measurement methods of a half-wavelength voltage and a chirp parameter for Mach-Zehnder optical modulators in high-frequency radio on fibre (RoF) systems

Méthodes de mesure d'une tension à demi-longueur d'onde et d'un paramètre de fluctuation de la longueur d'onde pour modulateurs optiques de Mach-Zehnder dans les systèmes de radio par fibre (RoF) à haute fréquence



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2017 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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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



Measurement methods of a half-wavelength voltage and a chirp parameter for Mach-Zehnder optical modulators in high-frequency radio on fibre (RoF) systems

Méthodes de mesure d'une tension à demi-longueur d'onde et d'un paramètre de fluctuation de la longueur d'onde pour modulateurs optiques de Mach-Zehnder dans les systèmes de radio par fibre (RoF) à haute fréquence

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 33.060.20; 33.180.99

ISBN 978-2-8322-7554-2

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

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	8
2 Normative references	8
3 Terms, definitions and abbreviated terms	8
3.1 Terms and definitions.....	8
3.2 Abbreviated terms.....	10
4 Electro-optic material-based Mach-Zehnder optical modulators	10
4.1 Mach-Zehnder optical modulators	10
4.1.1 Component parts	10
4.1.2 Structure	10
4.2 Requirements for MZMs.....	11
4.2.1 General	11
4.2.2 Substrate material	11
4.2.3 Optical waveguide design	11
5 Sampling for quality control	11
5.1 Sampling.....	11
5.2 Sampling frequency	11
6 Measurement method of a half wavelength voltage.....	11
6.1 Circuit diagram	11
6.2 Measurement conditions	12
6.2.1 Temperature and environment.....	12
6.2.2 Warming-up of measurement equipment.....	12
6.3 Principle of measurement method.....	13
6.3.1 General	13
6.3.2 Mathematical expressions of basic measurement principle	13
6.3.3 Principle of half-wavelength voltage and chirp parameter with fixed DC-bias condition (method A).....	14
6.3.4 Principle of half-wavelength voltage and chirp parameter using DC-bias sweep (method B).....	14
6.3.5 Principle of half-wavelength voltage and chirp parameter using minimum transmission bias and maximum transmission bias (method C).....	15
6.4 Measurement procedure	15
6.4.1 Method A.....	15
6.4.2 Method B.....	16
6.4.3 Method C.....	16
Annex A (informative) Measurement methods for parallel integrated Mach-Zehnder modulators.....	18
A.1 General.....	18
A.2 Examples.....	18
A.2.1 Quad parallel Mach-Zehnder modulators	18
A.2.2 Dual parallel Mach-Zehnder modulators with four RF electrodes.....	20
Bibliography.....	22
Figure 1 – Transfer curve of a Mach-Zehnder optical modulator.....	9
Figure 2 – Optical phase retardations	10

Figure 3 – Circuit diagram.....	12
Figure A.1 – Optical sideband generation from a sub-MZM element in a parallel MZM.....	19
Figure A.2 – Halfwave voltages of sub-MZMs of a quad parallel MZM.....	19
Figure A.3 – Chirp parameters of sub-MZMs of a quad parallel MZM	20
Figure A.4 – Structure of dual parallel Mach-Zehnder modulators with four RF electrodes	20

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62802:2017

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

MEASUREMENT METHODS OF A HALF-WAVELENGTH VOLTAGE AND A CHIRP PARAMETER FOR MACH-ZEHNDER OPTICAL MODULATORS IN HIGH-FREQUENCY RADIO ON FIBRE (ROF) SYSTEMS

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 62802 has been prepared by IEC technical committee 103: Transmitting equipment for radiocommunication.

This bilingual version (2019-11) corresponds to the monolingual English version, published in 2017-07.

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

CDV	Report on voting
103/131/CDV	103/161/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.

The French version of this standard has not been voted upon.

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

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.

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62802:2017

INTRODUCTION

A variety of microwave/millimeter-wave-phonic devices are useful for wireless communication and broadcasting systems. An optical modulator is an interface which converts an electronic signal to an optical signal. In the field of optical fibre communication systems, the IEC 62007 series was published in 1999.

Microwave/millimeter-wave RoF systems are comprised mainly of two parts: one is RF to photonic converter (E/O), and the other is photonic to RF converter (O/E). Radio waves are converted into an optical signal at E/O. This signal is transferred through the optical fibre and then the radio waves are regenerated at O/E.

A variety of photonic devices that carry microwave and millimeter-wave signals as subcarrier frequencies are used for high-frequency RoF systems. In particular, the Mach-Zehnder optical modulator (MZM) plays an important role to convert electronic (high-frequency above millimeter-wave) signal to optical signal. In high-frequency RoF systems, specifications of drive voltages, chirp characteristics, inter-modulation distortion of the modulators have been the important technical parameters. This document is prepared to provide the measurement method of MZMs to the industry for evaluating electro-optic material of the modulators to be used in high-frequency RoF systems. This document defines the measurement methods of a half-wavelength voltage and a chirp parameter, which have a significant impact on the performance of RoF systems. Additionally, these methods are also used for the estimation of the intermodulation distortions and transmission performances.

The half-wavelength voltage and the chirp parameter can be measured at the same time using the methods defined in this document. The nonlinear distortion characteristics are also important for the performance of the systems. The intermodulation distortion of the MZM is calculated from the driving voltage and the half-wavelength voltage. The detailed explanations and calculation method of intermodulation distortions from the normalized optical modulation index (NOMI) are described in IEC PAS 62593:2008[1]¹, Annex B.

The International Electrotechnical Commission (IEC) draws attention to the fact that it is claimed that compliance with this document may involve the use of patents concerning:

- a) a method for characterization of optical modulator, and method for controlling high frequency oscillator using the same (JP 3538619B),
- b) a method and apparatus for measurement of characteristic of optical modulator (JP 3866082B),
- c) a method for evaluating characteristic of optical modulator having Mach-Zehnder interferometer (WO 2011-027409),
- d) a method of measuring half-wave voltage of optical modulator (JP 2009-229926A).

Details pertaining to the patent holders and the locations where the patents are referred to in the document are given in Table 1.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

Table 1 – Patents present in this document

Related clause	Patent holder	Patent number
Clause 6 Annex A (informative)	National Institute of Information and Communications Technology	JP 3538619
6.4.3	National Institute of Information and Communications Technology Sumitomo Osaka Cement Co., Ltd.	JP 3866082
A.2.1	National Institute of Information and Communications Technology Sumitomo Osaka Cement Co., Ltd.	(WO 2011-027409) EP 2477021A US 8867042 CN 102575971 JP 5622154
A.2.2	Sumitomo Osaka Cement Co., Ltd.	(JP2009-229926A) JP 4991610

IEC takes no position concerning the evidence, validity and scope of these patent rights.

The holders of these patent rights have assured the IEC that he/she is willing to negotiate licences under reasonable and non-discriminatory terms and conditions with applicants throughout the world. In this respect, the statement of the holders of these patent rights are registered with IEC. Information may be obtained from:

National Institute of Information and Communications Technology
4-2-1 Nukui-Kitamachi, Koganei, Tokyo 184-8795, Japan

Sumitomo Osaka Cement Co., Ltd.
6-28 Rokubancho, Chiyoda-Ku, Tokyo 102-8465, Japan.

Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this document may be the subject of patent rights other than those identified above. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

ISO (www.iso.org/patents) and IEC (<http://patents.iec.ch>) maintain on-line data bases of patents relevant to their standards. Users are encouraged to consult the databases for the most up-to-date information concerning patents.

MEASUREMENT METHODS OF A HALF-WAVELENGTH VOLTAGE AND A CHIRP PARAMETER FOR MACH-ZEHNDER OPTICAL MODULATORS IN HIGH-FREQUENCY RADIO ON FIBRE (ROF) SYSTEMS

1 Scope

This document specifies measurement methods of a half-wavelength voltage and a chirp parameter applicable to MZMs in microwave and millimeter-wave RoF systems. In addition, these methods are also effective for the estimation of the intermodulation distortions and transmission performances. The methods apply for the following:

- frequency range: 5 GHz to 110 GHz;
- wavelength band: 0,8 μm to 2,0 μm ;
- electro-optic material based MZMs and their modules.

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 62007-1, *Semiconductor optoelectronic devices for fibre optic system applications – Part 1: Specification template for essential ratings and characteristics*

IEC 62007-2, *Semiconductor optoelectronic devices for fibre optic system applications – Part 2: Measurement methods*

3 Terms, definitions and abbreviated terms

3.1 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 62007-1:2015 and IEC 62007-2:2009 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>

3.1.1

half-wavelength voltage

V_{π}

voltage required for a Pockels effect material based Mach-Zehnder optical modulator to induce a phase shift of half a wavelength between the lightwaves of two arms of the Mach-Zehnder interferometer

SEE: Figure 1.

Note 1 to entry: It corresponds to an ON/OFF voltage of the Mach-Zehnder optical modulator.

Note 2 to entry: IEC PAS 62593 defines a measurement method for a half-wavelength voltage suitable for lower frequency applications, especially less than 5 GHz.

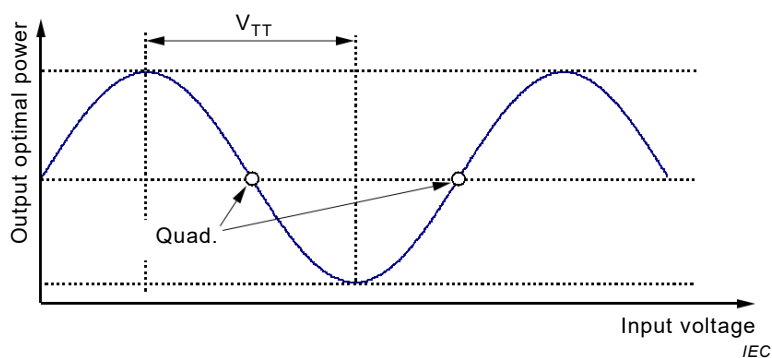


Figure 1 – Transfer curve of a Mach-Zehnder optical modulator

3.1.2

NOMI

normalized optical modulation index

for the Mach-Zehnder optical modulator, ratio of driving voltage and half-wavelength voltage of the modulator, defined as:

$$\text{NOMI} = (V_{pp} / V_{\pi}) \times 100 [\%] \quad (1)$$

where

V_{pp} is the driving voltage (peak to peak voltage);

V_{π} is the half-wavelength voltage.

Note 1 to entry For the Mach-Zehnder optical modulator, the intermodulation distortion is dependent on NOMI. The detailed explanations of OMI including measurement method are described in IEC PAS 62593:2008, Annex A. The calculation method of intermodulation distortions from the measured NOMI is described in IEC PAS 62593:2008, Annex B.

3.1.3

extinction ratio

R_{ext}

ratio of two optical power levels of the optical signal generated by the optical modulator, defined as:

$$R_{\text{ext}} = 10 \log(P_1/P_2) \quad (2)$$

where

P_1 is the optical power level generated when the output power is "on";

P_2 is the power level generated when the output power is "off."

Note 1 to entry: The extinction ratio is sometimes expressed as a fraction not in dB.

3.1.4

chirp parameter

undesired optical phase change with amplitude or intensity modulation, which is defined as the ratio of amplitude modulation and the phase modulation:

$$\alpha = \frac{\frac{d\phi}{dt}}{\frac{1}{E} \frac{dE}{dt}} \quad (3)$$

where

E is the optical amplitude at the modulator output,

ϕ is the optical phase at the modulator output.

Note 1 to entry: In IEC 61280-2-9 [2], chirp measurement methods for laser transmitters were overviewed, and time-resolved chirp and alpha-parameter measurement methods for of laser transmitters for digital systems is are given in IEC 61280-2-10 [3]. The chirp parameter alpha of an MZM is explained in detail in [4].

Note 2 to entry: The alpha parameter of an MZM can also be measured together with a half-wave voltage V_{π} by the sideband monitoring methods described in [5] and [6] using an optical spectrum analyzer.

3.2 Abbreviated terms

DC	direct current
DUT	device under test
MZM	Mach-Zehnder modulator
NOMI	normalized OMI
OMI	optical modulation index
OSA	optical spectrum analyzer
RF	radio frequency

4 Electro-optic material-based Mach-Zehnder optical modulators

4.1 Mach-Zehnder optical modulators

4.1.1 Component parts

The optical modulators and their modules consist of the basic parts as follows:

- Mach-Zehnder interferometer type optical modulator;
- input and output fibre pigtails (where appropriate);
- bias control port (where appropriate);
- photodiode for bias monitoring (where appropriate);
- laser diode for light source (where appropriate);
- thermal sensor (where appropriate);
- Peltier element (where appropriate).

4.1.2 Structure

The structure is as follows:

- electrode: lumped type, traveling-wave type, etc.
- options: optical isolator, photodiode, half-mirror, laser-diode, etc.

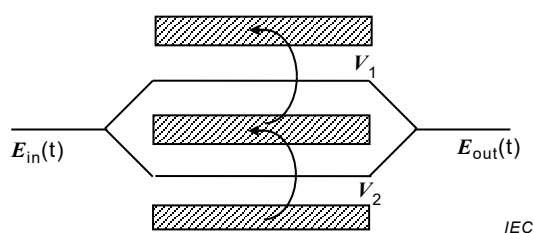


Figure 2 – Optical phase retardations

Due to the Pockels effect, optical phase retardation at each arm in the Mach-Zehnder interferometer can be controlled by the voltage applied on the electrode. The optical phase retardations at the upper arm and the lower arm are proportional to the voltages V_1 and V_2 (see Figure 2).

4.2 Requirements for MZMs

4.2.1 General

This method is based on the theoretical transfer curve of electro-optic material based Mach-Zehnder interferometer, where the phase shift of traveling light on each arm of the interferometer should be proportional to applied voltage, and the power of traveling lightwaves in each arm are almost the same. Requirements for the modulator of this measurement method are as follows.

4.2.2 Substrate material

The main substrate materials of the modulator should be materials such as LiNbO_3 , LiTaO_3 , KH_2PO_4 , PZT, PLZT, InP, GaAs, InGaAs, InAlAs, InGaAsP, nonlinear optical chromophore containing polymer, FTC type chromophore containing polymer, etc., which realise the electro-optic effect (Pockels effect). If strictly considered, semiconductor materials do not possess a pure electro optic effect, however, the semiconductor Mach-Zehnder modulators can be adjudged as electro-optic material-based Mach-Zehnder modulators.

4.2.3 Optical waveguide design

The optical waveguide should be designed as a single Mach-Zehnder interferometer type comprised of two Y-junctions or symmetric directional couplers and parallel waveguides. Reflection-type Mach-Zehnder optical modulators are modified designs of the modulators.

5 Sampling for quality control

5.1 Sampling

A statistically significant sampling plan shall be agreed upon by user and supplier. Sampled devices shall be randomly selected and representatives of production population, and shall satisfy the quality assurance criteria using the proposed test methods.

5.2 Sampling frequency

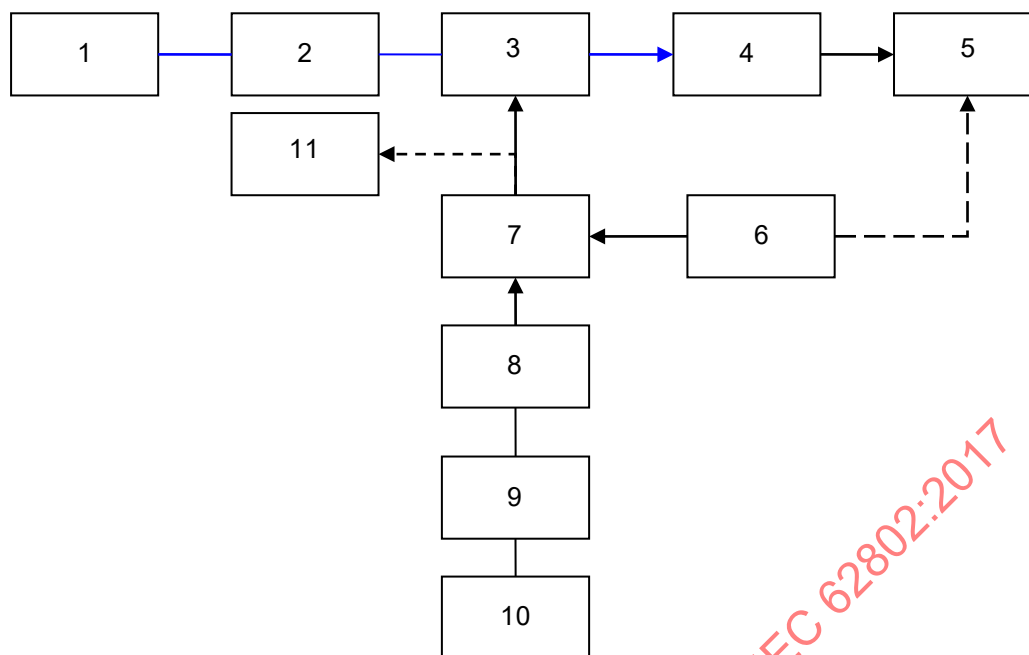
Appropriate statistical methods shall be applied to determine adequate sample size and acceptance criteria for the considered lot size. In the absence of more detailed statistical analysis, the following sampling plan can be employed:

Half-wavelength voltage: two units at least per manufacturing lot.

6 Measurement method of a half wavelength voltage

6.1 Circuit diagram

See Figure 3.



IEC

Key

The circuit description and requirements are as follows:

- 1 laser diode
- 2 polarization controller
- 3 device under test (DUT)
- 4 optical spectrum analyzer (OSA)
- 5 personal computer
- 6 DC voltage source or monitor signal source (SG2)
- 7 bias tee
- 8 (step) attenuator (electrical)
- 9 microwave amplifier
- 10 microwave signal source (SG1)
- 11 power meter or spectrum analyzer (electrical)

Figure 3 – Circuit diagram

6.2 Measurement conditions

6.2.1 Temperature and environment

The measurement should be carried out in a room with a temperature ranging from 5 °C to 35 °C. If the operation temperature ranges of the measurement apparatuses are narrower than this range, the specifications of the measurement apparatuses should be followed. It is desirable to control the measurement temperature within ± 5 °C in order to suppress the influence of the temperature drift of measurement apparatuses to a minimum. The temperature of the DUT can be changed using a temperature controller to verify the temperature dependence of the measured parameters as necessary.

6.2.2 Warming-up of measurement equipment

The warming-up time shall be kept typically to 60 min, or the time written in the specifications of the measurement equipments or systems. Moreover, the warming-up time should be taken to be the longest among all of the measurement equipment.

6.3 Principle of measurement method

6.3.1 General

The method for measuring the half-wavelength voltage (RF half-wavelength voltage) of a Mach-Zehnder type optical modulator is described in 6.3. In this method, the half-wavelength voltages of Mach-Zehnder type optical modulators can be measured accurately by using an optical spectrum analyzer (OSA). When a single-tone RF signal is applied to the modulator, the optical output would have sideband components whose frequency separation is equal to the frequency of the single-tone RF signal. The induced optical phases in a MZ modulator can be calculated from the intensities of the optical sideband components measured by the OSA. When the input RF power or voltage is also measured at this condition, the half-wavelength voltage, V_π can be determined. This measurement can be achieved through a wide frequency range from a few GHz to 110 GHz, which depends on the frequency range of the RF signal generator and power meter.

6.3.2 Mathematical expressions of basic measurement principle

The optical output of an MZM is given by:

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{E_i e^{j\omega_0 t}}{2} \{ \exp j[A_1 \sin \omega_m t + \phi_{B1}] + \exp j[A_2 \sin \omega_m t + \phi_{B2}] \} \\
 &= \frac{E_i e^{j\omega_0 t}}{2} \left\{ e^{j\phi_{B1}} \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(A_1) e^{jn\omega_m t} + e^{j\phi_{B2}} \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(A_2) e^{jn\omega_m t} \right\} \\
 &= \frac{E_i e^{j\omega_0 t} e^{j\phi_B}}{2} \left\{ e^{-j\phi_B/2} \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(A_1) e^{jn\omega_m t} + e^{j\phi_B/2} \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(A_2) e^{jn\omega_m t} \right\}
 \end{aligned} \tag{4}$$

$$\phi_B = \frac{\phi_{B1} + \phi_{B2}}{2} \tag{5}$$

$$\phi_B = -\phi_{B1} + \phi_{B2} \tag{6}$$

where

ϕ_{B1} and ϕ_{B2} are the optical phase delays at two arms in the Mach-Zehnder interferometer in the modulator;

the phase difference ϕ_B can be controlled by DC-bias voltage applied on the electrode of the modulator;

$E_i e^{j\omega_0 t}$ is the electric field of the input lightwave, where ω_0 is the angular frequency of the input lightwave and ω_m is that of the RF signal;

A_1 and A_2 are the optical phase retardation due to the RF signal fed to the electrode in the modulator.

J_n is the first kind Bessel's function. Intensities of sideband components, which correspond to the n -th order terms in Equation (4), can be measured by using an OSA. Nonlinear simultaneous equations for A_1 and A_2 can therefore be obtained.

The half-wavelength voltage V_π was derived from A_1 and A_2 using:

$$V_\pi = \frac{\pi V_{pp}}{2(A_1 - A_2)} \tag{7}$$

If the case of a small amplitude modulation where A_1 and $A_2 < 1$ is considered, the chirp parameter, the ratio of the amplitude modulation and the phase modulation can be described by:

$$\alpha_0 = \frac{A_1 + A_2}{A_1 - A_2}, \quad (8)$$

where the DC-bias is $|\phi_B| = \pi/2$, which corresponds to an optimal condition for small amplitude modulation [6]. A_1 and A_2 have opposite polarity in properly designed MZMs using push-pull configuration which provides effective intensity modulation. If the modulator has a symmetric structure with respect to the optical waveguide, A_1 equals $-A_2$, so that α_0 equals 0, which corresponds to a zero-chirp modulator. Assuming that nonlinear optical effects, except the Pockels effect, are negligible, the ratio between A_1 and A_2 does not depend on the intensity of the electric signal. Thus, α_0 is also an intrinsic parameter of the modulator. There are various options in the selection of the simultaneous equations.

6.3.3 Principle of half-wavelength voltage and chirp parameter with fixed DC-bias condition (method A)

The ratio between the n -th and $(n+1)$ -th order sideband intensities in the optical spectrum is expressed by:

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{|J_n(A_1) + J_n(A_2)e^{j\phi_B}|^2}{|J_{n+1}(A_1) + J_{n+1}(A_2)e^{j\phi_B}|^2} \\ &= \frac{\{J_n(A_1)\}^2 + \{J_n(A_2)\}^2 + 2J_n(A_1)J_n(A_2)\cos\phi_B}{\{J_{n+1}(A_1)\}^2 + \{J_{n+1}(A_2)\}^2 + 2J_{n+1}(A_1)J_{n+1}(A_2)\cos\phi_B} \end{aligned} \quad (9)$$

If the electrode is not DC-coupled, the phase difference ϕ_B can not be controlled by the bias voltage. Simultaneous equations for ϕ_B , A_1 and A_2 therefore need to be solved. For example, by using three equations, R_0 , R_1 , and R_2 , ϕ_B , A_1 and A_2 can be obtained. When ϕ_B can be precisely controlled, A_1 and A_2 can be determined from two R_n 's. The number of equations is equal to that of unknown variables, but these equations are transcendental. Thus, several solutions may be derived, and some of them may be unphysical. Actual solutions can be obtained by using more equations than the number of unknown variables.

6.3.4 Principle of half-wavelength voltage and chirp parameter using DC-bias sweep (method B)

Factor $\cos\phi_B$ in Equation (9) shows the connection between the optical spectrum and the DC-bias voltage. ϕ_B depends on the environmental conditions, which is known as DC-drift. Because the half-wavelength voltage V_π does not change much, the effect of DC-drift can be eliminated by sweeping the DC-bias voltage across two times V_π for DC, which corresponds to a period of $\cos\phi_B$. The ratio of the optical sideband intensities is expressed by:

$$R_n = \frac{\{J_n(A_1)\}^2 + \{J_n(A_2)\}^2}{\{J_{n+1}(A_1)\}^2 + \{J_{n+1}(A_2)\}^2} \quad (10)$$

and does not depend on the DC-bias voltage, so A_1 and A_2 can be precisely determined.

6.3.5 Principle of half-wavelength voltage and chirp parameter using minimum transmission bias and maximum transmission bias (method C)

If ϕ_B can be precisely controlled, A_1 and A_2 can be obtained from the zeroth and first order sideband components, where two types of DC-bias conditions are used. The intensity of the n -th order sideband can be expressed by:

$$P_n = E_i^2 \frac{|J_n(A_1) + J_n(A_2)e^{j\phi_B}|^2}{4} \quad (11)$$

$$= E_i^2 \frac{\{J_n(A_1)\}^2 + \{J_n(A_2)\}^2 + 2J_n(A_1)J_n(A_2)\cos\phi_B}{4}$$

When no RF signal is applied to the modulator, A_1 and A_2 are equal to zero. The optical power is given by:

$$P_0' = E_i^2 \frac{1 + \cos\phi_B}{2} \quad (12)$$

P_0' depends on the DC-bias and E_i^2 shows the peak power of the optical output without RF signal input. Two DC-bias points are used: the maximum transmission bias $\phi_B = 0$ ($P_0' = E_i^2$), and the minimum transmission bias $\phi_B = \pi$ ($P_0' = 0$). At the maximum transmission bias, P_0 has the maximum (P_{0a}), while P_1 has the minimum. At the minimum transmission bias, P_1 has the maximum (P_{1b}), while P_0 has the minimum. P_0 can therefore be accurately measured at the maximum transmission bias, and P_1 at the minimum transmission bias, because the other spectral components are much smaller than the desired component. P_{0a} and P_{1b} are normalized by E_i^2 , and expressed by:

$$\frac{P_{0a}}{E_i^2} = \frac{\{J_0(A_1)\}^2 + \{J_0(A_2)\}^2 + 2J_0(A_1)J_0(A_2)\cos\phi_B}{4} \quad (13)$$

$$\frac{P_{1b}}{E_i^2} = \frac{\{J_1(A_1)\}^2 + \{J_1(A_2)\}^2 - 2J_1(A_1)J_1(A_2)\cos\phi_B}{4} \quad (14)$$

P_{0a} and P_{1b} are normalized by E_i^2 and can be measured by an OSA or an optical power meter. A_1 and A_2 are determined from Equations (13) and (14).

6.4 Measurement procedure

6.4.1 Method A

The measurement procedure for Method A is as follows:

- 1) The measurement setup is prepared as shown in Figure 3.
- 2) The output signal of SG1 is set as follows:
Frequency: measurement frequency of driving voltage (10 GHz, 26 GHz, etc.)
Output power: >0 dBm at the RF input port of the modulator.
- 3) Intensities of optical sideband components (0th, 1st, 2nd, 3rd and 4th) are measured by using an OSA.

- 4) ϕ_B , A_1 and A_2 are numerically calculated from three simultaneous equations from R_0 , R_1 , R_2 and R_3 (see Equation (9)). To confirm the validity of the solution, ϕ_B , A_1 and A_2 are put to the Equation (9) which is not used to calculate them.
- 5) The half-wavelength voltage V_π and the chirp parameter α_0 are obtained from A_1 and A_2 by using $V_\pi = \frac{\pi V_{pp}}{2(A_1 - A_2)}$ and $\alpha_0 = \frac{A_1 + A_2}{A_1 - A_2}$.

6.4.2 Method B

The measurement procedure for Method B is as follows:

- 1) The measurement setup is prepared as shown in Figure 3.
- 2) The output signal of SG1 is set as follows:
Frequency: measurement frequency of driving voltage (10 GHz, 26 GHz, etc.)
Output power: >0 dBm at the RF input port of the modulator.
- 3) V_π at d.c. is measured.
- 4) The output signal of SG2 is set as follows:
Frequency: low frequency (1 kHz, 100 kHz, etc.)
Output amplitude: 2 V_π at d.c.
- 5) Intensities of optical sideband components (0th, 1st, 2nd and 3rd) are measured by using an OSA.
- 6) A_1 and A_2 are numerically calculated from two simultaneous equations from R_0 , R_1 , and R_2 (see Equation (10)). To confirm the validity of the solution, A_1 and A_2 are put into Equation (10), which is not used to calculate them.
- 7) The half-wavelength voltage V_π and the chirp parameter α_0 are obtained from A_1 and A_2 by using $V_\pi = \frac{\pi V_{pp}}{2(A_1 - A_2)}$ and $\alpha_0 = \frac{A_1 + A_2}{A_1 - A_2}$.

6.4.3 Method C

The measurement procedure for Method C is as follows:

- 1) The measurement setup is prepared as shown in Figure 3.
- 2) The bias voltage is set as follows:
The intensity of optical output power becomes the maximum value.
- 3) The optical output power without RF input signal (P_0) is measured.
- 4) The output signal of SG1 is set as follows:
Frequency: measurement frequency of driving voltage (10 GHz, 26 GHz, etc.)
- 5) The bias voltage is readjusted as follows:
The intensity of the optical carrier (optical side band 0th) becomes the maximum value.
- 6) The intensity of the optical carrier P_{0a} is measured by using an OSA.
- 7) The bias voltage is set as follows:
The intensity of the optical carrier (optical side band 0th) becomes minimum.
- 8) The intensity of the 1st optical sideband P_{1b} is measured by using an OSA.

- 9) P_{oa} and P_{1b} are normalized by E_i^2 ($= P_0$). A_1 and A_2 are numerically calculated from the two simultaneous equations, Equations (10) and (11).
- 10) The half-wavelength voltage V_π and the chirp parameter α_0 are obtained from A_1 and A_2 using $V_\pi = \frac{\pi V_{pp}}{2(A_1 - A_2)}$ and $\alpha_0 = \frac{A_1 + A_2}{A_1 - A_2}$.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62802:2017

Annex A (informative)

Measurement methods for parallel integrated Mach-Zehnder modulators

A.1 General

The methods described in this document are applicable to integrated MZMs. By using a parallel integrated MZM consisting of plural sub-MZMs, vector modulation and multilevel modulation can be generated and, therefore, the quadrature phase-shift-keying (QPSK) using a dual parallel modulator is prevailing technology. More integrated MZMs, such as quad-parallel MZMs, octet-parallel MZMs, which can synthesize optical multi-level signals from binary data stream generated by electronics designed for binary modulation formats, have been developed. Measurement of modulator characteristics are very important in order to achieve precise and high-speed optical modulation. However, the parallel MZMs have many electrodes to control, so that precise characterization of MZMs is not easy.

Annex A gives examples of measurement for parallel integrated MZMs. Precise measurement of half-wave voltage, extinction ratio and chirp parameter of each MZM element can be achieved using an optical spectrum analysis [1,3]. Method A is particularly suitable for the measurement of integrated modulators.

A.2 Examples

A.2.1 Quad parallel Mach-Zehnder modulators

In a quad parallel MZM (QP-MZM) consisting of quad sub MZM elements, seven-dimensional bias control is needed for the operation. However, characteristics of one of the MZM elements can be measured without turning off the other elements, using Method A or Method B, in which driving voltage and chirp parameter can be obtained without measurements of intensities of optical carrier component [1,3].

An electric sinusoidal signal is fed to one of the MZM elements, as shown in Figure A.1. When the electric isolation between the electrodes is high enough, the first and higher order sideband components are generated only at the sub-MZM element to which the electric signal is applied, while the zeroth-order (carrier) component is composed of lightwaves from all MZM components. The characterization of a particular sub-MZM element can be achieved by using the first and higher order sideband components using method A.

On the other hand, as bias control is needed, method C is used to achieve precise characterization of sub-MZMs. For the measurement of the first MZM element of a QP-MZM, optical phase differences in the second, third and fourth elements should be π to turn off other elements other than the first, where sideband components including the zeroth-order would be used to obtain a half-wave voltage and a chirp parameter.

Examples of measured results are as follows:

Half-wave voltages and intrinsic chirp parameters of four MZM elements in a QP-MZM monolithically integrated on a lithium niobate substrate were measured. The 3-dB bandwidth of the E/O response measured by a lightwave component analyzer (Agilent, 86030A) with a 1 548 nm wavelength light source was 16 GHz. A 10-GHz sinusoidal signal was applied on one of the MZM elements. Intensities of the first, second and third optical sidebands were measured by an optical spectrum analyzer. The ratio between the first, second, third and fourth order sideband intensities in the optical spectrum of each sub-MZM (MZM₁, MZM₂, MZM₃ and MZM₄) at 10 GHz were measured. Half-wave voltages and chirp parameters were derived from simultaneous transcendental equations described in 6.3.3. The number of unknown variables is equal to the number of equations to be solved in general. However, the equation would have

several solutions because these equations are nonlinear. In this case, more than three equations were used to select consistent solutions. Half-wave voltages of MZM elements derived from R_n 's in a 1 525 nm to 1 575 nm wavelength region are shown in Figure A.2, where the difference in the half-wave voltages of the MZM elements was less than 6 %. The chirp parameters of MZM elements are shown in Figure A.3. The chirp parameters were less than 0,1 for all the elements.

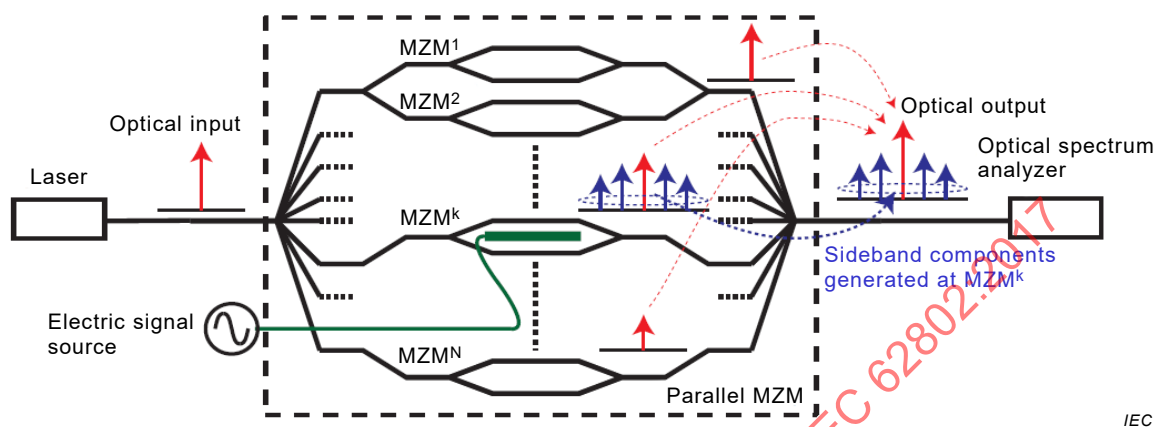


Figure A.1 – Optical sideband generation from a sub-MZM element in a parallel MZM

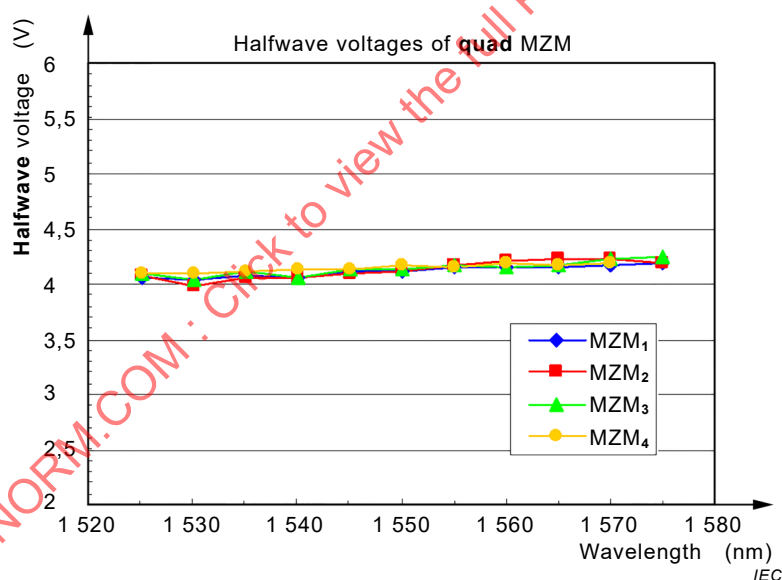


Figure A.2 – Halfwave voltages of sub-MZMs of a quad parallel MZM

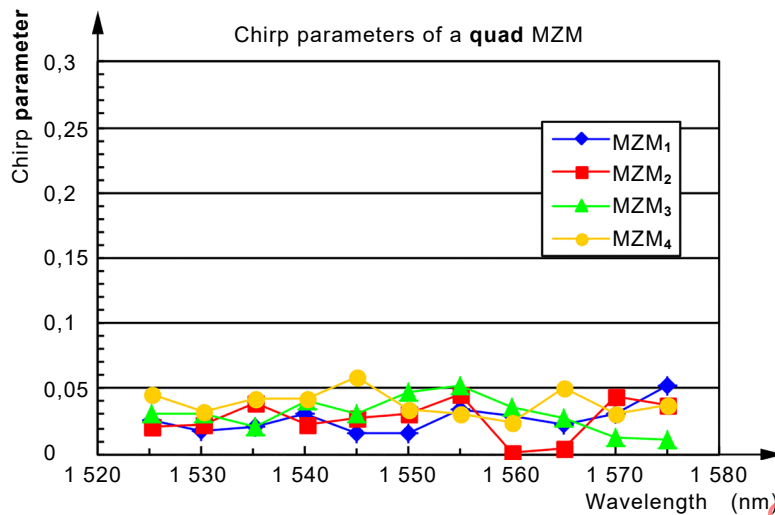


Figure A.3 – Chirp parameters of sub-MZMs of a quad parallel MZM

A.2.2 Dual parallel Mach-Zehnder modulators with four RF electrodes

For the chirp parameter control and the reduction of drive voltage, push-pull operations using dual-electrodes MZMs biased at quadrature point have been used. Dual parallel Mach-Zehnder modulators (DP-MZMs) composed of two sets of dual electrodes sub-MZMs as shown in Figure A.4 have also been provided and used widely. The sub-MZM A and B are dual electrodes type MZMs and each electrode A1, A2, B1 and B2 modulates the phase of lightwave at each arm. In this configuration, a chirp parameter of a sub-MZM can be controlled by adjusting the voltage of the signal to each phase modulator.

When electric isolation between the electrodes is high enough, the first and higher order sideband components are generated only at the phase modulator element to which the electric signal is applied, while the zeroth-order (carrier) component is composed of lightwaves from all MZM components. The measurement of half-wave voltage of a particular phase modulator element can be achieved easily by using the first and higher order sideband components without turning off the other elements [4].

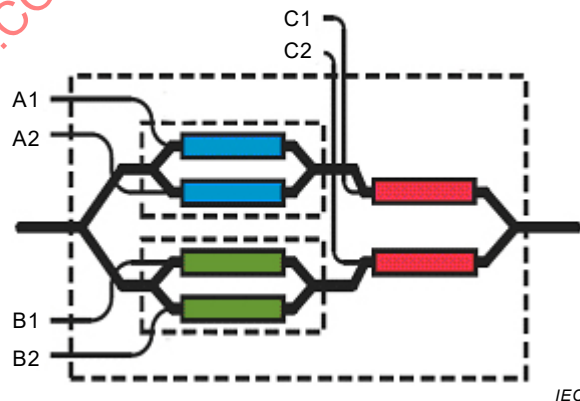


Figure A.4 – Structure of dual parallel Mach-Zehnder modulators with four RF electrodes

For phase modulators using the Pockels effect only, carrier and sideband components of the modulated lightwave spectrum are expressed by:

$$Ae^{j\omega_0 t} e^{j\pi \frac{V_{pp}}{2V_\pi} \sin(\omega_m t)} = Ae^{j\omega_0 t} \sum J_n \left(\pi \frac{V_{pp}}{2V_\pi} \right) e^{jn\omega_m t} \quad (\text{A.1})$$

where

A is a constant which corresponds to optical power of input light,

ω_0 is the angular frequency of the input lightwave and ω_m is that of the RF signal,

V_{pp} is the voltage of input RF signal,

V_π is the half-wave voltage.

The V_π in Equation (A.1) is the voltage required for inducing a phase change of one-half a wavelength of the lightwave at the phase modulator to which the electrical signal is applied. J_n is the first kind Bessel's function. Intensities of sideband components, which correspond to the n -th order terms in Equation (A.1), can be measured by using an OSA.

The ratio of side band peak intensity P_1 and P_2 is therefore given by:

$$P_1 - P_2 [\text{dB}] = 10 \log \left[J_1 \left(\pi \frac{V_{pp}}{2V_\pi} \right) \right]^2 - 10 \log \left[J_2 \left(\pi \frac{V_{pp}}{2V_\pi} \right) \right]^2 \quad (\text{A.2})$$

The half-wavelength voltage V_π of the phase modulator element is obtained from the measurement result of applied voltage V_{pp} and intensities of side band peaks P_1 and P_2 using Equation (A.2) without adjusting bias conditions [4].

An example of the measurement procedure is as follows.

- 1) The measurement setup is prepared as shown in Figure 3.
- 2) The output signal of SG1 is set as follows:
 Frequency: measurement frequency of driving voltage (10 GHz, 26 GHz, etc.)
 Output power: > 0 dBm at the RF input port of the modulator.
- 3) Intensities of optical sideband components (1st, 2nd) are measured using an OSA.
- 4) The half-wavelength voltage V_π is obtained from Equation (A.2).

Bibliography

- [1] IEC PAS 62593:2008, *Measurement method of a half-wavelength voltage for Mach-Zehnder optical modulators in wireless communication and broadcasting systems*
- [2] IEC 61280-2-9, *Fibre optic communication subsystem test procedures – Part 2-9: Digital systems – Optical signal-to-noise ratio measurement for dense wavelength-division multiplexed systems*
- [3] IEC 61280-2-10, *Fibre optic communication subsystem test procedures – Part 2-10: Digital systems – Time-resolved chirp and alpha-factor measurement of laser transmitters*
- [4] T. Kawanishi, K. Kogo, S. Oikawa and M. Izutsu, *Direct measurement of chirp parameters of high-speed Mach-Zehnder-type optical modulators*, Optics Communications 195, 399-404 (2001)
- [5] T. Kawanishi, *Parallel Mach-Zehnder modulators for quadrature amplitude modulation*, IEICE Electronics Express, Vol. 8, No. 20, pp. 1678-1688 (2011)
- [6] T. Kawanishi, A. Chiba, J. Ichikawa, M. Sudo, *Method for evaluating characteristics of optical modulator having Mach-Zehnder interferometer*, Patent application WO 2011/027409 (2011)

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62802:2017

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62802:2017

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	26
INTRODUCTION.....	28
1 Domaine d'application	30
2 Références normatives	30
3 Termes, définitions et abréviations	30
3.1 Termes et définitions	30
3.2 Abréviations.....	32
4 Modulateurs optiques de Mach-Zehnder composé de matériau électro-optique.....	32
4.1 Modulateurs optiques de Mach-Zehnder	32
4.1.1 Parties du composant	32
4.1.2 Structure	32
4.2 Exigences relatives aux MZM.....	33
4.2.1 Généralités	33
4.2.2 Matériau du substrat.....	33
4.2.3 Conception du guide d'ondes optique	33
5 Échantillonnage pour le contrôle qualité	33
5.1 Échantillonnage	33
5.2 Fréquence d'échantillonnage	33
6 Méthode de mesure d'une tension à demi-longueur d'onde.....	34
6.1 Schéma de circuit	34
6.2 Conditions de mesure	34
6.2.1 Température et environnement.....	34
6.2.2 Préchauffage de l'équipement de mesure	35
6.3 Principe de la méthode de mesure	35
6.3.1 Généralités.....	35
6.3.2 Expressions mathématiques du principe de mesure de base	35
6.3.3 Principe de la tension à demi-longueur d'onde et du paramètre de fluctuation de la longueur d'onde avec condition de polarisation continue fixe (méthode A).....	36
6.3.4 Principe de la tension à demi-longueur d'onde et du paramètre de fluctuation de la longueur d'onde utilisant le balayage de polarisation continue (méthode B)	36
6.3.5 Principe de la tension à demi-longueur d'onde et du paramètre de fluctuation de la longueur d'onde utilisant la polarisation de transmission minimale et la polarisation de transmission maximale (méthode C).....	37
6.4 Procédure de mesure.....	38
6.4.1 Méthode A	38
6.4.2 Méthode B	38
6.4.3 Méthode C	38
Annexe A (informative) Méthodes de mesure des modulateurs de Mach-Zehnder intégrés en parallèle	40
A.1 Généralités	40
A.2 Exemples.....	40
A.2.1 Modulateurs de Mach-Zehnder parallèles en quadrature.....	40
A.2.2 Modulateurs de Mach-Zehnder parallèles doubles avec quatre électrodes RF	42
Bibliographie.....	44

Figure 1 – Courbe de transfert d'un modulateur optique de Mach-Zehnder.....	31
Figure 2 – Retards de phase optique	33
Figure 3 – Schéma de circuit	34
Figure A.1 – Génération de la bande latérale optique à partir d'un sous-élément MZM dans un MZM parallèle.....	41
Figure A.2 – Tensions à demi-longueur d'onde de sous-éléments MZM d'un MZM parallèle en quadrature	41
Figure A.3 – Paramètres de fluctuation de la longueur d'onde de sous-éléments MZM d'un MZM parallèle en quadrature.....	42
Figure A.4 – Structure de modulateurs de Mach-Zehnder parallèles doubles avec quatre électrodes RF	42

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62802:2017

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MÉTHODES DE MESURE D'UNE TENSION À DEMI-LONGUEUR D'ONDE ET D'UN PARAMÈTRE DE FLUCTUATION DE LA LONGUEUR D'ONDE POUR MODULATEURS OPTIQUES DE MACH-ZEHNDER DANS LES SYSTÈMES DE RADIO PAR FIBRE (ROF) À HAUTE FRÉQUENCE

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. À cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'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 62802 a été établie par le comité d'études 103 de l'IEC: Matériels émetteurs pour les radiocommunications.

La présente version bilingue (2019-11) correspond à la version anglaise monolingue publiée en 2017-07.

Le texte anglais de cette norme est issu des documents 103/131/CDV et 103/161/RVC.

Le rapport de vote 103/161/RVC donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

La version française de cette norme n'a pas été soumise au vote.

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

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. À cette date, le document sera

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62802:2017

INTRODUCTION

Un grand nombre de dispositifs photoniques à micro-ondes/ondes millimétriques sont utiles pour les systèmes de communication et de diffusion sans fil. Un modulateur optique est une interface qui convertit un signal électronique en signal optique. Dans le domaine des systèmes de communication par fibre optique, la série IEC 62007 a été publiée en 1999.

Les systèmes RoF à micro-ondes/ondes millimétriques sont composés essentiellement de deux parties: un convertisseur RF/photonique (E/O - électrique/optique) et un convertisseur photonique/RF (O/E - optique/électrique). Les ondes radioélectriques sont converties en un signal optique au niveau E/O. Ce signal est transféré par l'intermédiaire de la fibre optique, puis les ondes radioélectriques sont de nouveau générées au niveau O/E.

Un large éventail de dispositifs photoniques transportant les signaux micro-ondes et les signaux à ondes millimétriques en tant que fréquences de la sous-porteuse est utilisé pour les systèmes RoF à haute fréquence. Le modulateur optique de Mach-Zehnder (MZM) joue en particulier un rôle important dans la conversion d'un signal électronique (à haute fréquence au-dessus de l'onde millimétrique) en signal optique. Dans les systèmes RoF à haute fréquence, les spécifications des tensions d'attaque, les caractéristiques de fluctuation de la longueur d'onde, la distorsion d'intermodulation des modulateurs constituent les paramètres techniques importants. Le présent document a été élaboré pour donner la méthode de mesure des MZM afin d'évaluer le matériau électro-optique des modulateurs qui doit être utilisé dans les systèmes RoF à haute fréquence. Le présent document définit les méthodes de mesure d'une tension à demi-longueur d'onde et d'un paramètre de fluctuation de la longueur d'onde, qui ont un impact important sur les performances des systèmes RoF. De plus, ces méthodes sont également utilisées pour estimer les distorsions d'intermodulation et les performances de transmission.

La tension à demi-longueur d'onde et le paramètre de fluctuation de la longueur d'onde peuvent être mesurés en même temps à l'aide des méthodes définies dans le présent document. Les caractéristiques de distorsion non linéaire sont également importantes pour les performances des systèmes. La distorsion d'intermodulation du MZM est calculée à partir de la tension d'attaque et de la tension à demi-longueur d'onde. Les explications détaillées et la méthode de calcul des distorsions d'intermodulation selon l'indice de modulation optique normalisé (NOMI, *normalized optical modulation index*) sont données dans l'IEC PAS 62593:2008[1]¹, Annexe B.

La Commission Électrotechnique Internationale (IEC) attire l'attention sur le fait qu'il est déclaré que la conformité avec les dispositions du présent document peut impliquer l'utilisation d'un brevet intéressant:

- a) une méthode de caractérisation du modulateur optique et une méthode de contrôle de l'oscillateur à haute fréquence (JP 3538619B),
- b) une méthode et un appareil de mesure des caractéristiques du modulateur optique (JP 3866082B),
- c) une méthode d'évaluation des caractéristiques du modulateur optique équipé d'un interféromètre de Mach-Zehnder (WO 2011-027409),
- d) une méthode de mesure de la tension à demi-longueur d'onde du modulateur optique (JP 2009-229926A).

Les détails relatifs aux détenteurs de brevet et aux emplacements concernés par les brevets auxquels le document fait référence sont donnés au Tableau 1.

1 Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

Tableau 1 – Brevets figurant dans le présent document

Article connexe	Détenteur du brevet	Numéro de brevet
Article 6 Annexe A (informative)	National Institute of Information and Communications Technology (Institut national des technologies de l'information et de la communication)	JP 3538619
6.4.3	National Institute of Information and Communications Technology Sumitomo Osaka Cement Co., Ltd.	JP 3866082
A.2.1	National Institute of Information and Communications Technology Sumitomo Osaka Cement Co., Ltd.	(WO 2011-027409) EP 2477021A US 8867042 CN 102575971 JP 5622154
A.2.2	Sumitomo Osaka Cement Co., Ltd.	(JP2009-229926A) JP 4991610

L'IEC ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à la portée de ces droits de propriété.

Les détenteurs de ces droits de propriété ont donné l'assurance à l'IEC qu'ils consentent à négocier des licences avec des demandeurs du monde entier en des termes et conditions raisonnables et non discriminatoires. À ce propos, la déclaration des détenteurs de ces droits de propriété est enregistrée à l'IEC. Des informations peuvent être demandées à:

National Institute of Information and Communications Technology
4-2-1 Nukui-Kitamachi, Koganei, Tokyo 184-8795, Japon

Sumitomo Osaka Cement Co., Ltd.
6-28 Rokubanchō, Chiyoda-Ku, Tokyo 102-8465, Japon.

L'attention est d'autre part attirée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété autres que ceux qui ont été mentionnés ci-dessus. 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.

L'ISO (www.iso.org/patents) et l'IEC (<http://patents.iec.ch>) tiennent à jour des bases de données, consultables en ligne, des droits de propriété liés à leurs normes. Les utilisateurs sont invités à consulter ces bases de données pour obtenir les informations les plus récentes concernant les droits de propriété.

MÉTHODES DE MESURE D'UNE TENSION À DEMI-LONGUEUR D'ONDE ET D'UN PARAMÈTRE DE FLUCTUATION DE LA LONGUEUR D'ONDE POUR MODULATEURS OPTIQUES DE MACH-ZEHNDER DANS LES SYSTÈMES DE RADIO PAR FIBRE (ROF) À HAUTE FRÉQUENCE

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie les méthodes de mesure d'une tension à demi-longueur d'onde et d'un paramètre de fluctuation de la longueur d'onde applicables aux MZM dans des systèmes RoF à micro-ondes et ondes millimétriques. De plus, ces méthodes sont également efficaces pour estimer les distorsions d'intermodulation et les performances de transmission. Ces méthodes s'appliquent à ce qui suit:

- plage de fréquences: 5 GHz à 110 GHz;
- bande de longueurs d'onde: 0,8 μm à 2,0 μm ;
- MZM composés de matériau électro-optique et leurs modules.

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 62007-1, *Dispositifs optoélectroniques à semiconducteurs pour application dans les systèmes à fibres optiques – Partie 1: Modèle de spécification relatif aux valeurs et caractéristiques essentielles*

IEC 62007-2, *Dispositifs optoélectroniques à semiconducteurs pour application dans les systèmes à fibres optiques – Partie 2: Méthodes de mesure*

3 Termes, définitions et abréviations

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'IEC 62007-1:2015 et l'IEC 62007-2:2009 s'appliquent, ainsi que les suivants.

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 <https://www.iso.org/obp/ui/fr/>

3.1.1

tension à demi-longueur d'onde

V_{π}

tension exigée pour un modulateur optique de Mach-Zehnder composé de matériau à effet Pockels pour induire un déphasage d'une demi-longueur d'onde entre les ondes lumineuses de deux bras de l'interféromètre de Mach-Zehnder

VOIR: Figure 1.

Note 1 à l'article: Elle correspond à une tension MARCHE/ARRÊT du modulateur optique de Mach-Zehnder.

Note 2 à l'article: l'IEC PAS 62593 définit une méthode de mesure d'une tension à demi-longueur d'onde adaptée à des applications à plus basses fréquences, en particulier celles inférieures à 5 GHz.

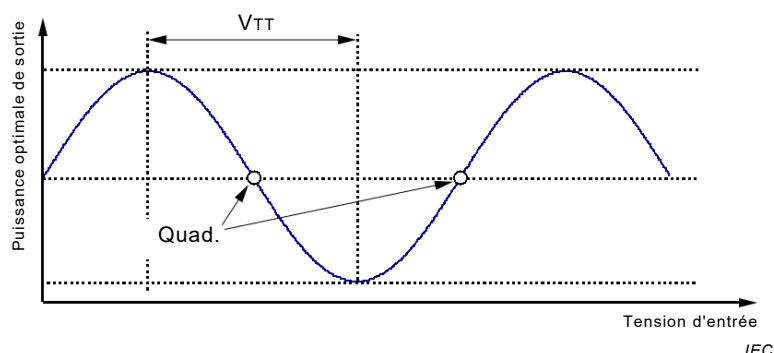


Figure 1 – Courbe de transfert d'un modulateur optique de Mach-Zehnder

3.1.2

NOMI

indice de modulation optique normalisé

pour le modulateur optique de Mach-Zehnder, rapport de la tension d'attaque sur la tension à demi-longueur d'onde, défini comme suit:

$$\text{NOMI} = (V_{pp} / V_{\pi}) \times 100 [\%] \quad (1)$$

où

V_{pp} est la tension d'attaque (tension crête à crête),

V_{π} est la tension à demi-longueur d'onde.

Note 1 à l'article: Pour le modulateur optique de Mach-Zehnder, la distorsion d'intermodulation dépend du NOMI. Les explications détaillées concernant l'OMI, y compris la méthode de mesure, sont données dans l'IEC PAS 62593:2008, Annexe A. La méthode de calcul des distorsions d'intermodulation à partir du NOMI mesuré est donnée dans l'IEC PAS 62593:2008, Annexe B.

Note 2 à l'article: L'abréviation «NOMI» est dérivée du terme anglais développé correspondant «normalized optical modulation index».

3.1.3

taux d'extinction

R_{ext}

rapport de deux niveaux de puissance optique du signal optique généré par le modulateur optique, défini comme suit:

$$R_{\text{ext}} = 10 \log(P_1/P_2) \quad (2)$$

où

P_1 est le niveau de puissance optique généré lorsque la puissance de sortie est « on »;

P_2 est le niveau de puissance généré lorsque la puissance de sortie est « off ».

Note 1 à l'article: Le taux d'extinction est parfois exprimé sous forme de fraction, pas en dB.

3.1.4

paramètre de fluctuation de la longueur d'onde

déphasage optique indésirable avec modulation d'amplitude ou d'intensité, qui est défini par le rapport de la modulation d'amplitude sur la modulation de phase:

$$\alpha = \frac{\frac{d\phi}{dt}}{\frac{1}{E} \frac{dE}{dt}} \quad (3)$$

où

E est l'amplitude optique à la sortie du modulateur,

ϕ est la phase optique à la sortie du modulateur.

Note 1 à l'article: L'IEC 61280-2-9 [2] présente les méthodes de mesure de la fluctuation de la longueur d'onde des émetteurs laser, et les méthodes de mesure de la fluctuation de la longueur d'onde résolue dans le temps et du paramètre alpha des émetteurs laser pour systèmes numériques sont données dans l'IEC 61280-2-10 [3]. Le paramètre alpha de fluctuation de la longueur d'onde d'un MZM est présenté en détail en [4].

Note 2 à l'article: Le paramètre alpha d'un MZM peut également être mesuré avec une tension à demi-longueur d'onde V_{π} par les méthodes de surveillance de la bande latérale décrites en [5] et [6] à l'aide d'un analyseur de spectre optique.

3.2 Abréviations

DC	direct current (courant continu)
DUT	device under test (dispositif à l'essai)
MZM	Mach-Zehnder modulator (modulateur de Mach-Zehnder)
NOMI	normalized OMI (indice de modulation optique normalisé)
OMI	optical modulation index (indice de modulation optique)
OSA	optical spectrum analyzer (analyseur de spectre optique)
RF	radiofréquence

4 Modulateurs optiques de Mach-Zehnder composé de matériau électro-optique

4.1 Modulateurs optiques de Mach-Zehnder

4.1.1 Parties du composant

Les modulateurs optiques et leurs modules sont composés des parties de base suivantes:

- modulateur optique de type interféromètre de Mach-Zehnder;
- fibres amorce en entrée et en sortie (le cas échéant);
- port de commande de polarisation (le cas échéant);
- photodiode pour la surveillance de polarisation (le cas échéant);
- diode laser pour la source de lumière (le cas échéant);
- capteur de température (le cas échéant);
- élément Peltier (le cas échéant).

4.1.2 Structure

La structure est la suivante:

- électrode: de type localisé, à ondes progressives, etc.
- options: isolateur optique, photodiode, demi-miroir, diode laser, etc.

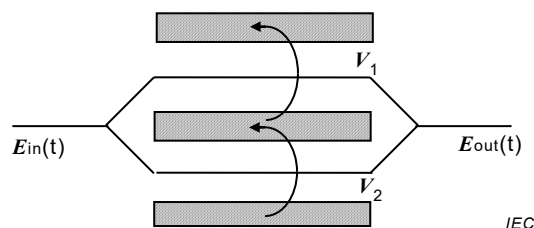


Figure 2 – Retards de phase optique

En raison de l'effet Pockels, le retard de phase optique au niveau de chaque bras de l'interféromètre de Mach-Zehnder peut être contrôlé par la tension appliquée sur l'électrode. Les retards de phase optique au niveau du bras supérieur et du bras inférieur sont proportionnels aux tensions V_1 et V_2 (voir la Figure 2).

4.2 Exigences relatives aux MZM

4.2.1 Généralités

Cette méthode repose sur la courbe de transfert théorique de l'interféromètre de Mach-Zehnder basé sur un matériau électro-optique, dans laquelle il convient que le déphasage de la lumière progressive sur chaque bras de l'interféromètre soit proportionnel à la tension appliquée, et que la puissance des ondes lumineuses dans chaque bras soit pratiquement identique. Les exigences relatives au modulateur de cette méthode de mesure sont les suivantes.

4.2.2 Matériau du substrat

Il convient que les principaux matériaux du substrat du modulateur soient des matériaux tels que LiNbO_3 , LiTaO_3 , KH_2PO_4 , PZT, PLZT, InP, GaAs, InGaAs, InAlAs, InGaAsP, un polymère contenant du chromophore optique non linéaire, un polymère contenant du chromophore de type FTC, etc., qui réalisent les effets électro-optiques (effet Pockels). D'un point de vue strict, les matériaux semiconducteurs ne possèdent pas un effet électro-optique pur. Toutefois, les modulateurs de Mach-Zehnder à semiconducteur peuvent être considérés comme des modulateurs de Mach-Zehnder composé de matériaux électro-optiques.

4.2.3 Conception du guide d'ondes optique

Il convient que le guide d'ondes optique soit conçu comme un simple interféromètre de Mach-Zehnder composé de deux jonctions en Y ou de coupleurs directionnels symétriques et de guides d'ondes parallèles. Les modulateurs optiques de Mach-Zehnder de type à réflexion sont des conceptions modifiées des modulateurs.

5 Échantillonnage pour le contrôle qualité

5.1 Échantillonnage

Un plan d'échantillonnage significatif d'un point de vue statistique doit faire l'objet d'un accord entre l'utilisateur et le fournisseur. Les dispositifs échantillonnés doivent être choisis au hasard et être représentatifs de la population de production, et ils doivent satisfaire aux critères d'assurance qualité utilisant les méthodes d'essai proposées.

5.2 Fréquence d'échantillonnage

Des méthodes statistiques appropriées doivent être appliquées pour déterminer l'effectif d'échantillons adapté et les critères d'acceptation pour la taille de lot considérée. En l'absence d'analyse statistique plus détaillée, le plan d'échantillonnage suivant peut être utilisé:

Tension à demi-longueur d'onde: au moins deux unités par lot de fabrication.

Il convient de procéder aux mesurages dans un local dont la température est comprise entre 5 °C et 35 °C. Si les plages de températures de fonctionnement des appareils de mesure sont plus étroites que cette plage, il convient de suivre les spécifications des appareils de mesure. Il est souhaitable de contrôler la température de mesure dans les limites de ± 5 °C afin de limiter le plus possible l'influence de la dérive de température des appareils de mesure. La température du DUT peut être modifiée à l'aide d'un régulateur thermique pour vérifier la variation des paramètres mesurés en fonction de la température, le cas échéant.

6.2.2 Préchauffage de l'équipement de mesure

La durée de préchauffage retenue doit être en général de 60 min ou celle indiquée dans les spécifications des équipements ou des systèmes de mesure. De plus, il convient de choisir la durée de préchauffage la plus longue de tous les équipements de mesure.

6.3 Principe de la méthode de mesure

6.3.1 Généralités

La méthode de mesure de la tension à demi-longueur d'onde (tension à demi-longueur d'onde RF) d'un modulateur optique de type Mach-Zehnder est décrite en 6.3. Dans cette méthode, les tensions à demi-longueur d'onde des modulateurs optiques de type Mach-Zehnder peuvent être mesurées précisément à l'aide d'un analyseur de spectre optique (OSA). Si un signal RF simple fréquence est appliqué au modulateur, la sortie optique comporte des composantes de bande latérale dont la séparation de fréquence est égale à la fréquence du signal RF simple fréquence. Les phases optiques induites dans un modulateur MZ peuvent être calculées à partir des intensités des composantes de bande latérale optiques mesurées par l'OSA. Si la puissance ou la tension RF d'entrée est également mesurée à ce stade, la tension à demi-longueur d'onde, V_π peut être déterminée. Ce mesurage peut être obtenu sur une plage de fréquences étendue allant de quelques GHz à 110 GHz, en fonction de la plage de fréquences du générateur de signaux RF et du wattmètre.

6.3.2 Expressions mathématiques du principe de mesure de base

La sortie optique d'un MZM est donnée par:

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{E_i e^{j\omega_0 t}}{2} \left\{ \exp j[A_1 \sin \omega_m t + \phi_{B1}] + \exp j[A_2 \sin \omega_m t + \phi_{B2}] \right\} \\
 &= \frac{E_i e^{j\omega_0 t}}{2} \left\{ e^{j\phi_{B1}} \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(A_1) e^{jn\omega_m t} + e^{j\phi_{B2}} \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(A_2) e^{jn\omega_m t} \right\} \\
 &= \frac{E_i e^{j\omega_0 t} e^{j\phi_B}}{2} \left\{ e^{-j\phi_B/2} \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(A_1) e^{jn\omega_m t} + e^{j\phi_B/2} \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(A_2) e^{jn\omega_m t} \right\}
 \end{aligned} \tag{4}$$

$$\phi_B = \frac{\phi_{B1} + \phi_{B2}}{2} \tag{5}$$

$$\phi_B = -\phi_{B1} + \phi_{B2} \tag{6}$$

où

ϕ_{B1} et ϕ_{B2} sont les temps de propagation de phase optique au niveau des deux bras de l'interféromètre de Mach-Zehnder dans le modulateur;

la différence de phase ϕ_B peut être contrôlée par la tension de polarisation continue appliquée sur l'électrode du modulateur;

$E_i e^{j\omega_0 t}$ est le champ électrique de l'onde lumineuse d'entrée, où ω_0 est la fréquence angulaire de l'onde lumineuse d'entrée et ω_m celle du signal RF;

A_1 et A_2 sont le retard de phase optique dû au signal RF envoyé à l'électrode dans le modulateur.

J_n est la fonction de Bessel de première espèce. Les intensités des composantes de bande latérale, qui correspondent aux termes de n^{e} ordre de l'Équation (4), peuvent être mesurées à l'aide d'un OSA. Les équations simultanées non linéaires pour A_1 et A_2 peuvent donc être obtenues.

La tension à demi-longueur d'onde V_π a été déduite de A_1 et A_2 comme suit:

$$V_\pi = \frac{\pi V_{pp}}{2(A_1 - A_2)} \quad (7)$$

Si une modulation de faible amplitude où A_1 et $A_2 < 1$ est prise en considération, le paramètre de fluctuation de la longueur d'onde, le rapport de la modulation d'amplitude et la modulation de phase peuvent être décrits par:

$$\alpha_0 = \frac{A_1 + A_2}{A_1 - A_2}, \quad (8)$$

où la polarisation continue est $|\phi_B| = \pi/2$, ce qui correspond à une condition optimale dans le cas d'une modulation de faible amplitude [6]. A_1 et A_2 ont une polarité opposée dans des MZM conçus correctement utilisant une configuration en push-pull (pousser-tirer), ce qui permet une modulation d'intensité efficace. Si la structure du modulateur est symétrique par rapport au guide d'ondes optique, A_1 est égal à $-A_2$, de sorte que α_0 est égal à 0, ce qui correspond à un modulateur à fluctuation de la longueur d'onde zéro. En prenant pour hypothèse que les effets optiques non linéaires (à l'exception de l'effet Pockels) sont négligeables, le rapport entre A_1 et A_2 ne dépend pas de l'intensité du signal électrique. Ainsi, α_0 est également un paramètre intrinsèque du modulateur. Il existe différentes options dans le choix des équations simultanées.

6.3.3 Principe de la tension à demi-longueur d'onde et du paramètre de fluctuation de la longueur d'onde avec condition de polarisation continue fixe (méthode A)

Le rapport entre les intensités de bande latérale de n^e et de $(n+1)^e$ ordre dans le spectre optique est exprimé par:

$$R_n = \frac{|J_n(A_1) + J_n(A_2)e^{j\phi_B}|^2}{|J_{n+1}(A_1) + J_{n+1}(A_2)e^{j\phi_B}|^2} \quad (9)$$

$$= \frac{\{J_n(A_1)\}^2 + \{J_n(A_2)\}^2 + 2J_n(A_1)J_n(A_2)\cos\phi_B}{\{J_{n+1}(A_1)\}^2 + \{J_{n+1}(A_2)\}^2 + 2J_{n+1}(A_1)J_{n+1}(A_2)\cos\phi_B}$$

Si l'électrode n'est pas couplée en courant continu, la différence de phase ϕ_B ne peut pas être contrôlée par la tension de polarisation. Il est donc nécessaire de résoudre les équations simultanées pour ϕ_B, A_1 et A_2 . Par exemple, en utilisant trois équations, R_0, R_1 et R_2 , ϕ_B, A_1 et A_2 peuvent être obtenus. Si ϕ_B peut être précisément contrôlé, A_1 et A_2 peuvent être déterminés à partir de deux R_n . Le nombre d'équations est égal à celui des variables inconnues, mais ces équations sont transcendantes. Par conséquent, plusieurs solutions peuvent être déduites, et certaines d'entre elles peuvent être non physiques. Des solutions réelles peuvent être obtenues à l'aide de plus d'équations que le nombre de variables inconnues.

6.3.4 Principe de la tension à demi-longueur d'onde et du paramètre de fluctuation de la longueur d'onde utilisant le balayage de polarisation continue (méthode B)

Le facteur $\cos\phi_B$ de l'Équation (9) indique la connexion entre le spectre optique et la tension de polarisation continue. ϕ_B dépend des conditions d'environnement, appelées dérive en courant continu. Étant donné que la tension à demi-longueur d'onde V_π varie peu, les effets de la dérive en courant continu peuvent être éliminés en balayant la tension de polarisation continue sur